

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения

Специальность 240403 Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Кафедра Химическая технология топлива и химической кибернетики

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Восстановление торфорудных материалов на основе Бакcharской руды и торфов двух типов УДК [662.73+662. 341. 1]:544. 41

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 - 5201	Деманов Евгений Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Архипов В.С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т. Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е. М.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов сепарации.
P2	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке.
P3	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
Общекультурные компетенции	
P4	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения

Специальность 240403 Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Кафедра Химическая технология топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. ХТТ и ХК, к.т.н., доцент

(Подпись) _____ (Дата) Юрьев Е.М.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломной работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5201	Деманов Евгений Андреевич

Тема работы:

Восстановление торфорудных материалов на основе Бакчарской руды и торфов двух типов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом работы	
-----------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т.д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатация) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Состав Бакчарской железной руды; Состав фускум-торфа, переходного осоково-сфагнового торфа.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижения мировой науки	Введение 1. Обзор литературы. Топливо в черной металлургии. 2. Аналитический обзор. Процессы

техники в рассматриваемой области; постановки задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполнено работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	углетермического восстановления железных руд. 3. Постановка задачи исследования. 4. Объекты и методы исследования. 5. Результаты и их обсуждения. 6. Финансовый менеджмент. 7. Социальная ответственность.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Антоневич О.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Архипов В.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Деманов Е.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа		ФИО	
3-5201		Деманов Евгений Андреевич	
Институт	Электронного обучения	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	ХТПЭ и УМ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования восстановления торфорудных материалов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Расчёт чистого денежного потока
5. Расчет инвестиционных показателей НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Деманов Евгений Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3 - 5201	Деманов Евгений Андреевич

Институт	ИДО	Кафедра	ХТТ и ХК
		Направление/специальность	240403 Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов
Уровень образования	Специалист		

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Научно-исследовательская работа проводилась в ТПУ на кафедре ХТТ. Восстановление железной руды торфом складывается из следующих этапов: отбор торфа, сушка торфа, измельчение руды в ступке, приготовление рабочих смесей, брикетирование, работа с электропечами, работа с химическими реактивами. Область применения металлургия железа.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; действие фактора на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: механические опасности (источники, средства защиты; термические опасности (источники, средства защиты); электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>1.1 Вредные производственные факторы: повышенный уровень шума на рабочем месте (ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ); Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548–96; ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация ГОСТ 12.0.003-74;</p> <p>1.2 Опасные производственные факторы:</p> <p>-пожаровзрывобезопасность (причины: неисправное оборудование, неправильная работа с веществами. Средства пожаротушения: огнетушитель ОУ-5, огнетушитель ОХП) огнетушитель ОПС, асбестовое одеяло, ящик с песком.)</p> <p>-электробезопасность (использование электрооборудования: сушильные шкафы, лабораторные весы, встряхиватель растворов. Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:</p> <p>- защитные оболочки;</p> <p>- защитные ограждения (временные или стационарные);</p> <p>- защитные барьеры. Защитное заземление; зануление)</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <p>защита селитебной зоны</p>	<p>Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы): Среди загрязнений воздушной среды</p>

анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	основными выбросами являются углеводород Загрязнение гидросферы (сбросы): может быть осуществлено посредством загрязнения сточных вод различными вредными веществами и продуктами. Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы): Происходит закисление почв, гибель лесов, изменяется видовой состав флоры и фауны во многих водоемах. ГОСТ 17.2.3.02—78.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	- пожаровзрывобезопасность (причины: неисправное оборудование, неправильная работа с веществами. Средства пожаротушения: огнетушитель ОУ-5, огнетушитель ОХП) огнетушитель ОПС, асбестовое одеяло, ящик с песком.) - электробезопасность (использование электрооборудования: сушильные шкафы, лабораторные весы, встряхиватель растворов. Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: - защитные оболочки; - защитные ограждения - защитные барьеры. Защитное заземление; ГОСТ 12.1.004-91
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1) Работодатель обязан выполнять требования согласно статье 223-224 ТК РФ. 2) Размещение оборудования в помещении учебной лаборатории должно обеспечивать удобство и безопасность выполнения всех видов рабочей деятельности при проведении лабораторных работ. -Планировка помещений учебной лаборатории должна обеспечивать освещение рабочих мест студентов естественным светом. -Размещение средств отображения информации должно обеспечивать свободное восприятие общей сигнальной информации в интерьере лаборатории. - Геометрические размеры зоны досягаемости моторного поля на рабочих местах в лаборатории определяются требованиями ГОСТ 12.2.032-78 (для положения сидя) и ГОСТ 12.2.033-78 (для положения стоя).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

09 марта 2016 г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Деманов Евгений Андреевич		

Реферат

Дипломная работа содержит 113 страниц, 19 рисунков, 59 таблиц.

Бакчарское месторождение, железная руда, торф, брикетирование, торфорудные материалы, восстановление.

Объектом исследования является железная руда Бакчарского месторождения и двух видов торфа, марок 397-M5 и 397-M4.

Цель работы: исследовать процесс восстановления железной руды в торфорудных материалах с разной дозировкой.

Для достижения этой цели были составлены смеси различного состава, брикеты из полученных смесей подвергались коксованию в электропечах и химическому анализу, восстановленные образцы были исследованы на содержание железа общего, железа двухвалентного и железа металлического.

В результате проделанной работы установлено, что прочность торфорудных материалов в процессе нагрева уменьшается, а при температуре 1100°C в следствие образования металлического железа увеличивается. До температуры 800°C количество двухвалентного железа увеличивается, а при дальнейшем нагреве уменьшается вследствие перехода в металлическое железо. Процесс восстановления заканчивается при температуре 1100°C, металлическое железо проявляется при температуре 900°C.

На основании проделанной работы можно сделать вывод, что соотношение торфов не оказывает существенного влияния на степень восстановления и металлизации торфорудных материалов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word и представлена в печатном виде на листах формата А4.

Содержание

Введение	1
1. Обзор литературы	3
1.1. Топливо для доменных печей	3
1.2. Каменноугольный кокс	4
1.3. Использование торфа в металлургии железа	8
2. Аналитический обзор	14
2.1. Железорудные материалы и их подготовка к процессу	14
2.2. Получение губчатого железа	14
2.3. Получение губчатого железа во вращающихся трубчатых печах	15
2.4. Получение губчатого железа в печах с вращающимся подом	17
2.5. Получение крицы	18
2.6. Металлизация железорудного сырья твердым восстановителем путем обжига руды угольных окатышей	19
2.7. Процесс Ромелт	22
3. Постановка задачи исследования	30
4. Объект и методы исследования	31
5. Результаты и их обсуждения	45
6. Финансовый менеджмент	68
7. Социальная ответственность	92

Введение

Бакcharское железорудное месторождение является одним из крупнейших проявлений железной руды в России и мире, находится на территории Бакcharского района Томской области в междуречье рек Андарма и Икса (притоки реки Чая). Бакcharское месторождение является наиболее исследованной частью Западно-Сибирского железорудного бассейна.

Месторождение было открыто случайно при разведке нефти в 1960-х годах, однако рудные горизонты и вышележащие толщи сильно обводнены, поэтому планы разработки месторождения появились только в начале 21 века.

Месторождение занимает площадь в 16 тыс. км². Железорудные образования находятся в трёх горизонтах на глубинах от 190 до 220 метров. Рудный горизонт месторождения составляет 20 - 70 м.

Освоение Бакcharского железорудного месторождения Томской области позволит надолго обеспечить потребности металлургических заводов Южного Урала и Западной Сибири. Уже сейчас по данным геологоразведочных работ можно утверждать, что прогнозные ресурсы Бакcharского месторождения в размере 28 млрд. т будут в значительной степени перекрыты. Из шести известных типов руд Бакcharского месторождения наиболее распространены плотные и рыхлые гетито-гидрогетитовые разновидности со средним содержанием железа 38 - 42%. Лисаковский горно-обогатительный комбинат, выпускающий концентрат гравитационно-магнитного обогащения ($Fe_{вал}=49\%$) и концентрат обжиг-магнитного обогащения ($Fe_{вал}=62\%$) для Карагандинского металлургического комбината. Таким образом, исходная Бакcharская руда с содержанием общего железа 38 - 42% должна быть обогащена до содержания общего железа 49 - 62%, если ориентироваться на выплавку чугуна в доменных печах сибирских заводов. Одним из вариантов переработки Бакcharской железной руды является полная или частичная металлизация концентрата в процессах прямого восстановления с последующим металлургическим переделом в доменных или сталеплавильных печах. При этом проблема окускования

решается путём формования торфорудных материалов (ТРМ), в которых связующим компонентом и в то же время восстановителем является торф.

Ранее проведенные исследования показали принципиальную возможность получения ТРМ и их металлизации. Первоочередной сырьевой базой для обеспечения торфом потребностей потенциального металлургического производства может служить торфяной массив, занимающий водораздел рек Бакчар-Икса, протянувшийся на 150км от истоков этих рек до их впадения в р. Чая. Преобладающий на участке переходный торф (52% запасов) представлен осоково-сфагновым, осоковым, древесно-осоковым, сфагновым видами.

Среди низинных торфов (18% запасов) доминируют осоковый, древесно-осоковый и древесные виды. Средняя степень разложения торфа составляет 22% при зольности 6,0%. Преобладают на участке торфа средней и низкой степени разложения. Указанные торфа следует рассматривать как реальное сырье для получения ТРМ из Бакчарской руды. При этом наиболее реально использовать для окускования мелкозернистый концентрат обогащения Бакчарской руды [1].

1.Обзор литературы

1.1. Топливо для доменных печей

Топливо, используемое для доменной плавки, выполняет три основные функции:

- тепловую, являясь источником тепла при разогреве шихтовых материалов до высоких температур и обеспечивая интенсивное протекание химических реакций при плавлении чугуна и шлака;
- химическую, являясь основным химическим реагентом-восстановителем оксидов железа и других элементов;
- физическую, обеспечивая высокую газопроницаемость столба шихты.

Необходимо отметить, что физическая функция топлива предотвращает тяжелые расстройства хода доменной плавки. Поэтому топливо должно быть твердым, кусковым материалом, создающим высокую газопроницаемость в области высоких температур и обеспечивающим условия для противотока газа и расплавленных масс металла и шлака.

Для доменного процесса требуется прочное, неспекающееся твердое топливо. Оно занимает значительный объем доменной печи, и большая его часть должна сохраниться твердой, кусковой и прочной до нижней части печи.

К топливу предъявляют следующие основные требования:

- высокая теплота сгорания и восстановительная способность в химических реакциях;
- достаточная прочность и термостойкость, чтобы не образовывалось много мелочи при нагреве топлива и прохождении его через печь;
- неспекаемость в условиях доменного процесса;
- достаточная чистота по содержанию вредных примесей серы и фосфора.

Кроме того, твердое топливо должно содержать мало золы, особенно кремнезема и глинозема, требующих применения флюсов.

Топлива естественных видов не удовлетворяют этим требованиям. Поэтому для доменной плавки приходится специально изготавливать твердое топливо-древесный уголь, кокс[3].

1.2. Каменноугольный кокс

Кокс является единственным видом твердого топлива для доменной плавки во всей мировой практике черной металлургии.

Доменное топливо должно удовлетворять ряду требований. Куски топлива должны быть надлежащих размеров (40 - 100мм) и достаточной прочности; минимально истираться при транспортировке и опускании в доменной печи; содержать минимальное количество вредных примесей, золы и летучих веществ; не растрескиваться при высоких температурах; обладать большой теплотворностью. Большинству этих требований удовлетворяет кокс, который широко применяется в доменной плавке. Кокс получают из смеси каменных коксующихся углей с углями других марок путем сухой перегонки в коксовых печах.

Для производства кокса применяют в основном угли следующих марок: К - коксовые, ПЖ - паровичные жирные, Ж - жирные, ПС - паровичные спекающиеся, Г - газовые, а также угли промежуточных групп КПЖ, ПЖ - ПС, КЖ и др. Газовые и жирные угли содержат большее количество летучих веществ (до 38%), а коксовые и тощие (Т) - менее 25%. Качество углей определяет в значительной мере качество кокса. Чем больше в углях золы и серы, тем больше их в коксе; чем лучше коксующиеся свойства углей, тем прочнее получается из них кокс. Угли, как и железную руду, подвергают подготовке, которая заключается в сортировке, обогащении, усреднении и дроблении перед спеканием.

При добыче углей, которая возможна как открытым, так и подземным способом, попадает пустая порода, увеличивающая зольность углей. Зола является минеральной составляющей, уменьшающей содержание углерода в весовой единице угля или кокса. При любом использовании угля зола является балластом. Кроме обогащения, угли проходят дополнительный

многообразный процесс подготовки перед их коксованием. Эта подготовка состоит из усреднения, дробления и приготовления шихты, которой и загружают коксовые печи.

Для коксования используются не угли отдельных марок, а их смесь в соответствующих соотношениях, которая называется шихтой. В таблице 1.1 приведен состав угольной шихты для коксования.

Таблица 1.1- Состав угольной шихты для коксования

Угли	Технический анализ, %			Количество в шихте, %
	зола	сера	Летучие в-ва на горючую массу	
Газовые	6,8	1,1	39,9	12
ПЖ сернистые	6,9	3,2	32,3	10
ПЖ малосернистые	7,1	1,7	29,7	20
ПЖ сернистые	6,9	2,7	30,3	15
К	6,5	2,3	23,6	23
ПС	7,2	1,5	16,6	20
Шихта	6,9	2,03	26,2	100

При подборе углей для составления шихты учитывают прежде всего качество углей, целесообразность максимального использования углей различных шахт, стремятся избежать нерациональных перевозок и т. д.

Угли на коксохимических заводах, как правило, хранят на открытых складах. Углеподготовительные цехи современных заводов обычно оборудованы мощными грейферными и двух грейферными перегружателями для складирования и усреднения углей. Грейферные перегружатели или другие механизмы используют для укладки и усреднения штабелей, а также забора из них угля. Принцип усреднения такой же, как для железных руд. Для угля каждого типа должно быть два поля. На одном поле формируют

штабель, уголь другого штабеля расходуют. При длительном хранении угли. Окисляются, даже самовозгораются.

Применение в шихту окисленных углей резко ухудшает прочность готового кокса, так как при окислении ухудшается спекаемость углей. Во избежание окисления при длительном хранении уголь при формировании штабеля укладывают более плотно, чтобы затруднить проникновение воздуха в толщу штабеля. Для уплотнения слоев угля используют тракторы. Существуют технические условия, в которых определены сроки хранения углей на складе, обеспечивающие их нормальные технологические свойства.

В процессе коксования выделяется очень много ценных веществ, которые улавливают специальным оборудованием и соответствующим образом перерабатывают.

Коксохимические предприятия вырабатывают в настоящее время продукты коксования более 60 наименований, а в дальнейшем намечается расширение их ассортимента. В ряде случаев продукты коксохимической промышленности являются основным источником химического сырья. К ним относится бензол, нафталин и др.

Кокс в доменной печи играет важную роль и выполняет следующие функции:

- 1) является основным видом топлива для обеспечения происходящих в печи тепловых процессов; необходимых для нагрева шихты и ее расплавления;
- 2) является реагентом, с помощью которого обеспечиваются восстановительные процессы;
- 3) занимает значительную часть объема доменной печи, что влияет на газопроницаемость столба шихты при ее проплавке;
- 4) влияет на качество чугуна и производительность доменных печей в зависимости от содержания в нем серы, фосфора, золы, влаги и летучих веществ.

Несмотря на имеющиеся Государственные стандарты и технические условия на качество кокса, доменщики и коксовики определяют качество кокса еще и по внешнему виду при выдаче его из коксовых печей, на рампе после тушения, в бункерах и скипах.

Полученный из хорошо спекающейся шихты кокс, имеет светлый цвет и при ударе куса об кусок «звенит». Можно получить из хорошей шихты также кокс и темного цвета. Этот кокс в доменной печи образует большое количество мелочи. Качественный кокс имеет обычно относительно правильную форму «кубическую», «пальцевидную» или «столбчатую».

Прочность кокса - основной показатель его качества. Под прочностью необходимо понимать степень сопротивления кокса разрушению под влиянием различных внешних воздействий, к которым относятся процессы дробления и истирания, происходящие во время транспортировки от ramпы коксового цеха до загрузки в доменную печь, а также измельчение в доменной печи при опускании столба шихты по мере ее проплавки.

Для определения истираемости и прочности существуют различные методы. К ним относятся испытание в барабане, ситовый рассев, сбрасывание на стальную плиту, определение замусоренности и трещиноватости. В практике металлургических и коксохимических заводов существует стандартный метод определения механической прочности кокса в большом барабане.

Помимо испытания на прочность, в большом барабане нормируют также содержание в коксе влаги, золы, серы, фосфора и летучих.

Содержание влаги в коксе обуславливается режимом его тушения. Резкое колебание влажности кокса влечет за собой резкое изменение содержания углерода в нем, что отражается на тепловом режиме доменного процесса. Поэтому влажность строго нормируется, допускается ее колебание в пределах 2 - 5%.

Зола в коксе, как уже говорилось ранее, представляет собой минеральные, негорючие составляющие. Ее содержание также

регламентируется техническими условиями: для южных заводов - до 10%, для восточных заводов - до 12%.

Сера в коксе является очень вредной примесью. На заводах Юга ее содержание достигает 1,9%, а на заводах Востока 0,4 - 0,6%. Содержание серы в коксе ограничивается государственным стандартом и техническими условиями в пределах 0,1 - 0,15%.

По техническим условиям для выплавки бессемеровского чугуна содержание в коксе фосфора не должно превышать 0,015%. В коксах из углей Донецкого бассейна фосфора не бывает более 0,02%, в то время как в коксах из углей Кузбасса содержание его иногда поднимается до 0,2%.

Присутствие в коксе летучих веществ регламентируется техническими условиями в пределах 0,7 - 1,2%.

В связи с увеличением полезного объема, высоты и поперечных размеров печей требования к качеству кокса значительно возрастают. В первую очередь необходимо повышение его механической прочности, увеличение крупности и обеспечение однородности.

По мере увеличения содержания железа в рудных концентратах и использования природного газа как топлива расход кокса будет значительно снижаться. Сокращение удельного расхода кокса не снижает его роли как разрыхлителя столба шихты в доменных печах, а, наоборот, увеличивает его значение в связи с этим. Чем больше будет снижаться расход кокса на 1 т чугуна, тем прочней и крупней он должен быть. Анализ работы мощных доменных печей подтверждает, что от качества кокса в значительной мере зависит рост производства чугуна [3].

1.3. Использование торфа в металлургии железа

Металлургическое топливо и топливо плавильные материалы на основе торфа.

В настоящее время ведущим процессом производства черных металлов служит доменный процесс, вследствие чего кардинальной задачей использования торфа в металлургии является получение из него доменного

горючего. Для этого требуется прежде всего кусковое топливо определенных физических и физико-химических свойств.

Современными способами производства торфа можно считать фрезерный и экскаваторный. Первый имеет значительные экономические преимущества и занимает преобладающее значение. Однако в этом способе торф добывается в виде сухой мелкой крошки и получение из него прочного термостойкого брикета является основной и достаточно трудной задачей.

Экскаваторный способ сразу дает кусковой материал, прочность которого обусловлена коллоидными клеящими свойствами сырого торфа. Однако коксование машиноформованного торфа, полученного на современном оборудовании экскаваторного способа, дает продукт невысокой механической прочности, пригодный для доменных печей лишь небольшого объема. При успешном решении задачи увеличения прочности машиноформованного торфа экскаваторный или ему подобный способы добычи могут иметь в конечном итоге преимущества по сравнению с фрезерным способом добычи.

Проблемная лаборатория ведет исследования в этой области по двум направлениям: терм брикетирование фрезерного торфа и получение топлива плавильных материалов на основе машиноформованного и фрезерного торфа.

Терм брикетирование, т. е. прессование измельченного и предварительно нагретого до 200 - 300°C торфа, имеет значительные экономические преимущества перед обычным брикетированием и позволяет получить термостойкий брикет, в проблемной лаборатории разработан способ терм брикетирования с использованием высокоскоростного нагрева. Исследования показали, что образование прочной структуры терм брикета обусловлено протеканием различных химических, физических и физико-химических процессов. Для этого необходимо достаточное развитие реакций термического разложения органической массы торфа, приводящих к накоплению пластичных и других продуктов, обладающих повышенной

химической активностью и связывающей способностью. Так как количество пластической связывающей массы при термическом разложении торфа оказывается недостаточным для создания сплошного скелета, заполняющего пустоты, которые всегда имеют место в случае затрудненной усадки органического вещества при термическом распаде, необходимо сближение частиц под действием внешней силы. Это сближение способствует также вовлечению в реакции конденсации и неплавкой части органической массы.

Реакция термической деструкции протекает по параллельно-последовательному механизму, а реакции образования пластических продуктов, являются промежуточными, поэтому, концентрация их в подвергаемом разложению топлива достигает максимального значения в определенный момент нагрева. Таким образом, исследование механизма терм брикетирования дает возможность обоснованно оценить значение для технологий терм брикетирования таких факторов, как температура, давление, время, а также ряд других. Полученные терм брикеты по некоторым показателям механической прочности превосходят каменноугольный металлургический кокс. Для перспективных торфяных месторождений в районе Бакчара установлены предварительные технические условия технологического режима терм брикетирования.

Современное направление прогресса в черной металлургии характеризуется поисками путей интенсификации доменного процесса. Одним из основных звеньев решения этой задачи является тщательная подготовка сырых материалов к доменной плавке, что в конечном итоге может найти воплощение в создании «моношихты» т.е., гранулированной однородной по химическому и физическому составу смеси, которая содержит в необходимом соотношении топливо, руду и флюсы.

Проблема «моношихты» тесно связана с необходимостью окускования железных руд и концентратов. До сих пор ни один из методов не дал такого улучшения экономических и технологических показателей доменной плавки, как окускование и обогащение руд. Это направление

особенно важно в связи с истощением запасов богатых руд и необходимостью развития процессов глубокого обогащения, дающих тонкоизмельченный концентрат.

В Томском политехническом институте проведена работа по изучению влияния различных факторов на прочность машиноформованного торфа и кокса из него на разных стадиях пиролиза.

Задача повышения прочности кокса машиноформованного торфа решалась комплексно с одновременным окускованием рудной мелочи.

Предлагается метод получения из торфа топлива плавильных материалов, т.е. материалов, содержащих в своем составе топливо, железную руду и флюсы в необходимых для доменного процесса соотношений.

По современным представлениям на прочность торфяных формовок оказывает влияние целый ряд факторов, главнейшими из которых являются силы межмолекулярного прилипания, зависящие от поверхности контактирующих частиц, от толщины их сольватных оболочек, от дзета потенциала коллоидных частиц и пр. Введение в торфяную формовку новых компонентов железной руды и известняка, несомненно, должно отразиться на качестве полученной формовки. Можно ожидать, что торфорудные формовки, полученные из торфа с пониженной влажностью, окажутся более прочными, чем формовки, полученные из торфа с большой влажностью.

При снижении влажности торфа адсорбционные оболочки коллоидных частиц уменьшаются в размере. Это способствует увеличению сил межмолекулярного прилипания. Кроме того, чем менее влажен торф в период формовки, тем незначительнее изменится структура формовки в период сушки. Введение в торфомассу железной руды приводит к появлению в системе ионов железа, которые даже в самых незначительных количествах вызывают уменьшение толщины адсорбционных оболочек; руда и флюсы добавляются в тонкоизмельченном виде, поверхность контактирующих частиц возрастает, что также должно вести к увеличению сил межмолекулярного прилипания.

В проблемной лаборатории исследовано влияние исходной и конечной влажности торфа, интенсивности его переработки, давления формования, степени измельчения руды и флюсов, режима коксования и других факторов на прочность топлива плавильных материалов. Для ряда перспективных торфяных месторождений Томской области определены предварительные технические условия по режиму приготовления топлива плавильных материалов на основе машиноформованного торфа.

На Аятском торфопредприятии СреднеУральского совнархоза были проведены промышленные испытания технологии топлива плавильных материалов.

Целью испытаний была проверка технологичности процесса производства топлива плавильных материалов на основе экскаваторного способа добычи торфа и оценка качества полученных формовок с точки зрения возможности применения их в доменной плавке.

В процессе испытаний было выявлено следующее:

1. Получение топлива плавильных материалов на действующих механизмах экскаваторного способа добычи торфа возможно.
2. Введение руды в торфомассу не затрудняет последующей ее переработки и стилки.
3. Производительность добывающего агрегата при добавке руды в количестве до 10% на сырую торфяную массу не меняется.

Таким образом, данный материал по механической прочности в воздушно-сухом состоянии не уступает каменноугольному коксу.

В лабораторных условиях при увеличении степени переработки торфа и лучшем качестве рудной составляющей получен намного более прочный материал.

В проблемной лаборатории разработан также способ получения топлива плавильных материалов из фрезерного торфа методом термбрикетирования при использовании в качестве твердого теплоносителя при

высокоскоростном нагреве торфа основных компонентов топлива плавильных материалов железной руды и флюсов.

При разработке новых видов металлургического топлива большое значение имеют методы предварительной оценки их качества. Принятые методики испытания каменноугольного кокса не могут быть прямо перенесены на металлургическое топливо другого вида, так как не отражают фактического поведения топлива в доменной печи, где оно подвергается действию не только механических усилий, но и высокой температуры и агрессивной газовой среды. Эта проблема в настоящее время в черной металлургии считается одной из важнейших. В проблемной лаборатории разработан ряд методов и приборов испытания прочности металлургического топлива в горячем состоянии. Ведутся исследования по влиянию различных факторов на формирование структуры кокса и механизма его разрушения при вторичном нагреве.

Ряд вопросов, разрабатываемых в проблемной лаборатории по данному направлению, связаны с исследованием процессов сушки и механического обезвоживания торфа, а также разработки новых методов диспергирования торфа [1].

2. Аналитический обзор

2.1. Железорудные материалы и их подготовка к процессу

Выбор сырья для металлизации проводят в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству металлизированного продукта со стороны его дальнейшего предела, а также с учетом физико-химических изменений, которым оно подвергается в процессе металлизации. Железорудные материалы для производства губчатого железа должны удовлетворять следующим основным требованиям: по возможности высокое содержание железа при низком содержании серы, фосфора, щелочей и примесей цветных металлов (медь, никель, хром, цинк, свинец и др.), оказывающих большое влияние на качество стали и технико-экономические показатели выплавки ее в электропечах; высокая газопроницаемость шихты в восстановительном агрегате; высокая восстановимость; отсутствие склонности шихты к слипанию при достаточно больших температурах восстановления; высокая прочность при восстановлении [5].

2.2. Получение губчатого железа

Процесс получения губчатого железа осуществляется при умеренных температурах с использованием газообразного или твердого восстановителя в различных агрегатах: шахтных, трубчатых, туннельных, муфельных, отражательных, электронагревательных печах, ретортах периодического действия конвейерных машинах, реакторах с кипящим слоем и др. Чаще всего губчатое железо применяют как высокочистую добавку к стальному лому. Основными процессами, используемыми на работающих, строящихся и проектных установках для производства губчатого железа, являются процессы с применением шахтных печей и реторт периодического действия. Процессы с использованием вращающихся печей и твердого восстановителя в последние годы находят промышленное применение главным образом при переработке металлургических отходов не пригодных для использования в доменных печах [2].

2.3. Получение губчатого железа во вращающихся трубчатых печах

Общее описание процесса

Вращающиеся печи получили применение в промышленном масштабе для металлизации железорудных материалов главным образом потому, что позволяют перерабатывать различные руды по химическому и фракционному составу: руды, окатыши, концентраты, пыли, шламы и др., а в качестве топлива и восстановителя применять коксовую мелочь и уголь всех марок, вплоть до лигнита.

Вместе с железорудным сырьем в печь загружают уголь в качестве восстановителя, известняк или доломит в качестве десульфуратора. Восстановитель загружают в печь в количестве, превышающем теоретически необходимое для удаления кислорода руды. Поскольку процесс восстановления оксидов железа твердым углеродом эндотермичен, вращающиеся печи отапливаются путем сжигания над слоем шихты газообразного, жидкого или твердого топлива в горелке, расположенной в разгрузочном торце печи, или в горелках, расположенных на корпусе по длине печи. При этом сжигание топлива в обоих случаях проводится с недостатком воздуха. Остальной воздух, необходимый для сгорания топлива и дожигания оксида углерода, выделяющегося из шихты при восстановлении, вдувается через фурмы, расположенные на корпусе печи, что позволяет регулировать температуру по ее длине. В зависимости от свойств железорудных материалов и золы топлива-восстановителя температура нагрева шихты составляет 1000 - 1100 °C.

По длине вращающуюся печь можно разделить на зоны нагрева и восстановления. Степень восстановления наиболее быстро растет в середине и замедляется к концу печи. К концу процесса восстановления, когда образование оксида углерода уменьшается, создаются условия, способствующие проникновению в шихту окислительных газов. В связи с этим напыляемый на поверхности шихты в конце печи избыточный

восстановитель предохраняет металлизированный продукт от окисления этими газами. Степень заполнения шихтой составляет обычно 10 - 20%.

Для достижения высокой производительности вращающейся печи необходимо применять топливо, отличающееся хорошей реакционной способностью, так как реакция газификации углерода является определяющей в процессе восстановления оксидов железа твердым углеродом. Расход углерода можно определить по формуле:

$$C_{\Sigma}=0,375O_p(\xi+1), \quad (1)$$

где ξ - степень прямого восстановления (обычно 0,8 - 0,85);

O_p - количество кислорода, отнимаемого от руды, кг/кг.

Практика показала, что потребность углерода на восстановление составляет ~ 40 - 45% от общего расхода углерода в печи, 25 - 30% углерода сгорает, а оставшийся выгружается из печи вместе с металлизированным продуктом, защищая его от окисления. Общий расход восстановителя составляет 50 - 60% массы железорудного материала.

Большую роль на производительность печи оказывает теплопередача от газов к слою шихты. Тепло от газового потока передается шихте и футеровке. Тепло, полученное футеровкой, передается шихте и теряется в окружающую среду.

По мере повышения температуры к концу печи (зона восстановления) решающую роль в теплообмене начинает играть излучение, с помощью которого передается максимальное количество тепла (90%). Температура отходящих газов возрастает до 800 - 1000°C и для утилизации их тепла используют предварительный нагрев железорудной части сырья. В результате этого повышается тепловой коэффициент полезного действия всей установки, значительно снижается расход топлива и одновременно возрастает удельная производительность печи. Общая длина печи должна обеспечить необходимое время пребывания в печи для достижения заданной степени металлизации [2].

2.4. Получение губчатого железа в печах с вращающимся подом

Процессы получения ГЖ в камерных печах с вращающимся подом, в которых в качестве восстановителя используется уголь, а в качестве исходных сырьевых материалов - мелкодисперсные металлургические отходы, мелкая железная руда или железорудный концентрат, начали разрабатываться в 1970-х годах. В первую очередь, разработку таких процессов стимулировали трудности утилизации на интегрированном металлургическом заводе цинкосодержащих сталеплавильных шламов и пылей.

В этих процессах композитные (рудоугольные) окатыши или неокускованные железосодержащие и углеродсодержащие материалы тонким слоем (15 - 40мм) загружаются на вращающийся под камерной печи и быстро нагреваются до 1250 - 1350°C. Благодаря высокой удельной поверхности контактов между частицами, содержащими углерод и оксиды железа, и высокой температуре восстановление железа из оксидов завершается за время одного оборота пода печи (6 - 12 мин). ГЖ непрерывно разгружается из печи при температуре около 1000°C затем либо охлаждается, либо брикетируется, либо горячим используется для вышивки чугуна. Недостатками процессов являются низкая производительность из-за ограничений по теплопередаче и повышенное содержание пустой породы и серы (в зависимости от вида используемого углеродсодержащего материала) в получаемых продуктах. Последнее обстоятельство делает неэффективным использование этих продуктов в качестве компонентов металлошихты при выплавке стали. По этой причине развитие этой технологии привело к созданию комбинированных процессов, завершающихся выплавкой в электропечах чугуна из ГЖ, полученного в печах с вращающимся подом. Разработанные различными фирмами и опробованные на пилотных установках процессы с описанной технологией отличаются, в основном, видом используемых шихтовых материалов и типом применяемых печей [2].

2.5. Получение крицы

Кричный процесс представляет собой метод переработки бедных руд, не поддающихся обогащению обычными методами. К ним относятся бурые железняки, гематитовые кварциты, бедные комплексные руды, а также железосодержащие отходы. Содержание железа в перерабатываемой руде может составлять от 10 до 40% (чаще всего 25 - 35%). Использование богатых руд исключается, так как для протекания процесса крицеобразования необходимо большое количество шлака.

Кричный металл представляет частицы железа фракции до 10 мм округлой формы с включениями шлака и содержит 80 - 90% железа, около 1% углерода, значительное количество серы и фосфора. В крицу переходит из руды, %: 85-95 Fe, 90-95 Ni, 20Ст, 20 Mn, 85 Р и 20 - 25S.

Производство крицы осуществляют во вращающихся печах длиной от 60 до 110м с наружным диаметром от 3,6 до 4,6м (производительность от 80 до 350т кричного железа в сутки) по технологии, близкой к технологии получения губчатого железа во вращающихся печах. В отличие от процессов получения губчатого железа кричный процесс заканчивается при более высокой температуре до 1350°C в зоне крицеобразования (вместо 1000 - 1100°C), где пустая порода частично расплавляется, и образуется вязкий тестообразный шлак, в котором включены частицы железа, укрупняющиеся при вращении печи. Выходящий из печи полупродукт охлаждается водой, дробится и измельчается (при этом измельчается в основном шлак), подвергается рассеву и магнитной сепарации.

Недостатками кричного процесса является: большой расход тепла (33,4 - 41,8 млн кДж/т крицы), низкая производительность печей и невысокая стойкость футеровки в кричной зоне. Этот процесс может иметь определенное значение для переработки титаносодержащих железных руд и железистых песков, а также окисленных никелевых руд и др [2].

2.6. Металлизация железорудного сырья твердым восстановителем путем обжига рудоугольных окатышей

Благодаря развитой поверхности контакта реагентов диффузионное сопротивление сокращено до минимума, что позволяет значительно интенсифицировать процессы восстановления оксидов железа твердым углеродом. Добавки твердого топлива в шихту в количестве 10 - 20% позволяют получать частично металлизированные окатыши, представляющие собой совершенно новый вид железорудного сырья для доменной плавки.

Применение в шихте доменных печей окускованного сырья, частично восстановленного за счет использования дешевых недефицитных видов твердого топлива, является одним из основных направлений дальнейшего улучшения технико-экономических показателей доменной плавки.

Особенно важным фактором является то, что применение металлизированного сырья в доменной плавке позволяет значительно сократить расход кокса, как показали доменные плавки: на каждые 10% металлизации шихты можно получать экономию кокса в 5 - 7% и повысить производительность доменных печей на 4 - 6%.

Многочисленными исследованиями показано, что совмещение процессов упрочнения и восстановления окатышей из рудоугольной шихты при высокотемпературном обжиге является эффективным методом получения металлизированных окатышей. Определено влияние различных факторов (температура и продолжительность обжига, вид и количество твердого топлива, крупность руды и топлива, размер окатышей, окислительный потенциал газовой фазы и др.). На степень металлизации (отношение железа металлического к железу общему) и прочностные характеристики окатышей, в результате чего установлена возможность получения достаточно прочных гранул с достаточно высокой степенью металлизации при обжиге рудоугольных окатышей в среде дымовых газов.

Поскольку процесс упрочнения и металлизации рудоугольных окатышей проходит лишь на последней стадии обжига, было предложено

осуществлять термообработку таких окатышей в неподвижном слое на колосниковой решетке

В нашей стране процесс металлизации рудугольных окатышей впервые реализован в полупромышленном масштабе на заводе «Сибэлектросталь» на конвейерной машине площадью 10 м^2 , оборудованной водоохлаждаемыми паллетами.

Сырые окатыши изготавливались на грануляторе диаметром 3м из шихты, состоящей из коршуновского концентрата, буроугольного полукокса, черногорского угля и антрацита.

После отработки технологии для оценки максимальной производительности конвейерной машины процесс вели при оптимальных параметрах: диаметр сырых окатышей 18 - 24мм, содержание углерода в них 11 - 13%; температура газа в зоне сушки 300 - 350°C, в зоне подогрева 600 - 900°C, в первой зоне обжига 1000 - 1200°C, во второй зоне обжига 1340 - 1380°C. С целью повышения скорости теплоносителя его количество увеличивали путем разбавления воздухом. В зависимости от реакционной способности восстановителя содержание кислорода в горновых газах поддерживалось близким к тому, при котором достигался оптимальный выход годного (без окисленной оболочки); для окатышей с буроугольным полукоксом оно составляло 5 - 8%, а для окатышей с коксом 12 - 15%.

Для указанных выше условий при оптимальных показателях металлизации и использовании различных восстановителей, максимальная удельная производительность была следующей, $\text{т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: 0,52 с коксом, 0,46 с антрацитом, 0,39 с буроугольным полукоксом при выходе годного соответственно 92,92 и 83%. Повышение скорости прососа газа-теплоносителя за счет рециркуляции без повышения содержания кислорода в нем, позволит сблизить показатели металлизации при использовании различных восстановителей, в том числе и по удельной производительности.

Во всех опытах была выявлена одна очень важная особенность: стремление при обжиге рудугольных окатышей в слое к образованию

спеков независимо от наличия или отсутствия в газовой фазе кислорода, от степени металлизации и расхода восстановителя и т.д.

При всей сложности этого процесса можно выделить три основные причины, вызывающие образование расплава и определяющие вероятность спекания окатышей.

1. Вторичное окисление железа ведет к образованию вюстита, а при местном повышении температуры при поверхности окатыша к образованию легкоплавких фаз с повышенной подвижностью. Жидкая фаза смачивает оксидную пленку соседних окатышей и реагирует с ней, вызывая образование своеобразной зернистой структуры спека: в закристаллизовавшемся расплаве вкраплены крупные зерна оксидов железа, а сам расплав окружает сохранившие свою форму остатки окатышей.

2. Медленное развитие процесса восстановления при сравнительно умеренных температурах (1100 - 1150°C), обусловленное наличием градиента температур по высоте слоя окатышей, способствует образованию большого количества монооксида железа, вследствие чего образуется расплав. В этом случае оплавление предшествует металлизации и задерживает ее ход.

3. Вытекание железистого расплава из металлизированного образца, обусловленное спеканием частиц металлического железа и низкой адгезией расплава к металлу и наиболее резко проявляющееся при достижении высоких степеней металлизации и при заметном содержании пустой породы.

Спекание в определенной степени зависит и от количества пустой породы. Металлизация бедных железом материалов должна сопровождаться образованием большого количества расплава.

В зависимости от условий процесса спеки могут иметь различную структуру. Чрезмерное развитие вторичного окисления приводит даже к получению монолита - сырья, использование которого очень усложнено, при этом учащается выход оборудования из строя. Вытекание жидкости из высокометаллизированных окатышей ввиду слабого смачивания расплавом твердой фазы и малого количества расплава приводит к образованию очень

слабых и легко рассыпающихся спеков. Однако такие спеки могут образоваться лишь при использовании суперконцентраторов с небольшим содержанием пустой породы и при значительной затрате времени на процесс, что возможно только при получении сырья для сталеплавильных печей.

При соответствующем режиме обжига получающиеся металлизированные спеки имеют высокую прочность, пористость и восстановимость. По структуре они напоминают аглоспек. Основным скрепляющим элементом в них является силикатная связка. Получение спеков значительно облегчает условия процесса и, что немаловажно, увеличивает производительность установки вследствие уменьшения потерь железа.

Металлизированный на 40% спек, полученный на обжиговой машине, обладает высокими металлургическими свойствами: пористость 40 - 50%, барабанная проба 6 - 10%, содержание фракции 5 - 0мм после четырехкратного сбрасывания с высоты 1,8 м в нем составляет всего 4%.

Использование металлизированного спека в доменных печах обеспечит более высокую газопроницаемость столба шихтовых материалов, чем при работе на агломерате и обычных окатышах, ввиду большей прочности спека при восстановлении. Это особенно важно для доменных печей. Для успешной реализации процесса металлизации рудоугольных окатышей в промышленном масштабе необходимо решать ряд проблем, таких как герметизация обжиговой машины, создание регулируемой атмосферы, возможность охлаждения металлизированного продукта [2].

2.7. Процесс Ромелт

Ромелт - одностадийный процесс выплавки чугуна без использования кокса и предварительной подготовки железосодержащей шихты.

Разработанный в Московском государственном институте стали и сплавов (МИСиС) под руководством профессора В.А. Роменца одностадийный процесс жидкофазного восстановления неподготовленных

железосодержащих материалов с использованием в качестве восстановителя энергетических углей осуществляется в плавильно-восстановительной печи прямоугольного сечения (рис.1), работающей с небольшим разрежением в рабочем пространстве, исключая выбросы газов в атмосферу.

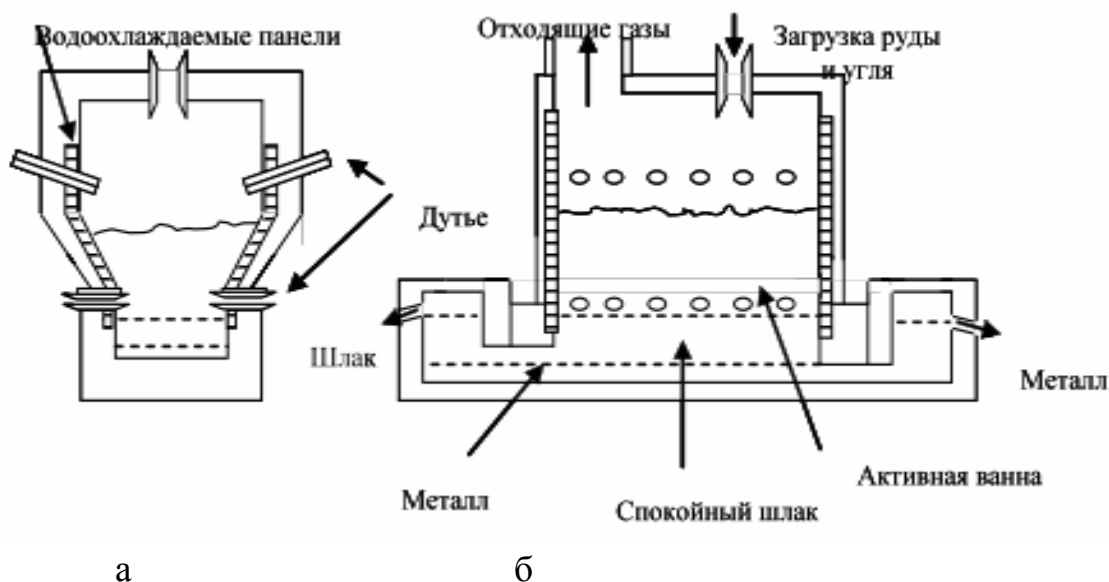


Рисунок 2.1. Схема агрегата РОМЕЛТ (а) и вид сбоку (б)

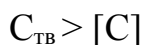
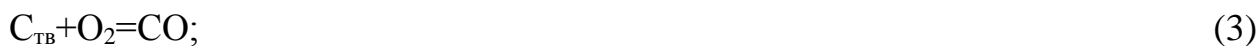
В плавильно-восстановительной печи Ромелт имеют место все четыре укрупненные зоны, характерные для одностадийных процессов жидкофазного восстановления и кратко описанные выше, а именно: металлическая ванна, шлаковая барботируемая ванна, зона дожигания и зона свободного пространства в верхней части плавильно-восстановительной печи. Разработчики процесса Ромелт разделяют шлаковую ванну на три зоны в соответствии с особенностью протекающих в них процессов и выделяют таким образом в плавильно-восстановительной печи 5 зон, не считая зоны свободного подкупольного пространства печи.

Зона спокойного металла (температура 1350 - 1400°C) в горне печи, где происходит накопление металла и окончательно формируется его состав в реакциях между чугуном и расположенным на нем слоем относительно спокойного шлака.

Зона спокойного шлака (температура 1400 - 1450°C) под уровнем барботажных фурм. В этой зоне происходит каолесценция капель металла, их

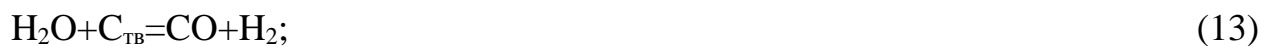
стекание через слой шлака в металлическую ванну и реакции между шлаком и металлом, формирующие окончательный состав чугуна

3. Нижняя часть зоны барботируемого слоя шлака с температурой 1450 - 1500°C, расположенная непосредственно над барботажными фурмами. В этой зоне идут многочисленные теплообменные и физико-химические процессы, а именно: горение частиц твердого топлива, диссоциация гематита, плавление частиц руды, растворение углерода в металле, восстановление оксидов железа из жидкого шлака углеродом, окисление серы из шлака кислородом и десульфурация металла шлаком:

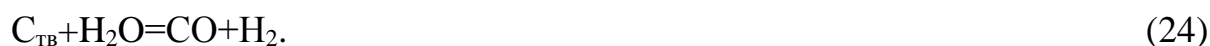
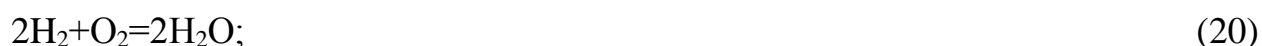


Верхняя часть барботируемого слоя шлака с температурой 1500 - 1550°C (поверхностный слой). В этом слое происходят: пиролиз и деструкция угольных частиц, выделение и разложение летучих веществ угля, испарение и разложение влаги, газификация углерода и частичное его окисление, образование частичек полукокса, диссоциация гематита, расплавление железорудных материалов и флюса и переход их в шлаковую фазу. Здесь восстанавливаются оксиды железа и идет реакция науглероживания чугуна. Из этой зоны происходят интенсивные выплески шлака вверх, в зону дожигания. Основные химические реакции в этой зоне следующие:





Зона дожигания (1750 - 1850°C). В этой зоне выделяется основное количество тепла в результате окисления CO до CO₂ и H₂ до H₂O и идет интенсивная теплопередача от газовой фазы шлаку за счет конвективного теплообмена и излучения. В этой зоне происходит также частичное окисление мелких частиц угля, выносимых потоком газа:



В плавильно-восстановительной печи Ромелт над зоной дожигания существует относительно высокое свободное подкупольное пространство, в котором происходит погашение энергии взлетающих капель шлака, снижение скорости выделяющегося дыма, за счет которого уменьшается вынос мелочи загружаемых материалов с отходящим газом.

Процесс Ромелт отрабатывался на пилотной установке с площадью пода 20м². За период 1985 по 1998год было проведено более 40 кампаний, во время которых выплавлено более 40000т чугуна. В опытных плавках использовали самые различные природные и техногенные железорудные материалы, а в качестве топлива - различные энергетические угли с широким диапазоном содержания летучих веществ и золы. Получаемый чугун по содержанию углерода и серы мало отличался от доменного чугуна, но практически не содержал кремния и других трудно восстанавливаемых

элементов. Содержание фосфора в чугуна Ромелт зависит от содержания закиси железа в шлаке, которое варьируется в пределах 1,5 - 3,0%. Фосфор в процессе Ромелт частично (на 20 - 30%) переходит в шлак. Плавки на пилотной установке показали широкие возможности процесса Ромелт по утилизации металлургических и других отходов, например, пластмасс без их специальной подготовки к переработке, как это требуется, например, для вдвухания пластмасс в доменные печи. В процессе Ромелт успешно перерабатывались отходы, содержащие до 7,6%Zn и 0,86%РЬ, а также щелочные элементы в форме хлоридов и оксидов. Температурно-восстановительные условия в рабочем пространстве плавильно-восстановительной печи Ромелт обеспечивают удаление этих металлов и части щелочей из ванны и возможность их улавливания в системе газоочистки.

В настоящее время реализуется проект строительства завода с полным циклом, выплавка чугуна в котором будет осуществляться в агрегатах Ромелт производительностью 0,3млн т/год. Основными концептуальными характеристиками промышленного модуля Ромелт, обеспечивающими оптимальные условия для выплавки металла в печи и максимальное использование избыточного тепла отходящих газов, являются:

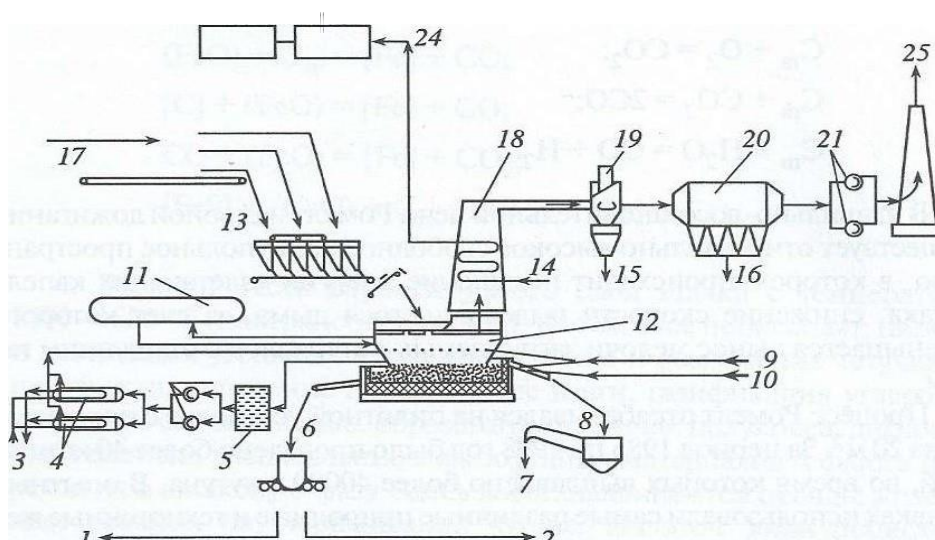


Рисунок 2.2. Технологическая схема промышленного модуля РОМЕЛТ: 1 - в кислородно-конвертерный и электросталеплавильный цехи; 2 - на разливочную машину; 3 - техническая вода; 4 - вода к водяному

теплообменнику; 5 - резервуар потребляемой воды; 6 - чугун; 7 - гранулированный шлак; 8 - шлак; 9 - кислород; 10 - сжатый воздух; 11 - бак-сепаратор испарительной системы охлаждения; 12 - печь РОМЕЛТ; 13 - шихтовые бункера; 14 - деминерализованная вода; 15 - грубая пыль; 16 - тонкая пыль; 17 - со склада: шламы, уголь, известняк; 18 - теплообменник-парогенератор; 19 - циклон-пылеуловитель; 20 - электрофилтры; 21 - вентилятор; 22 - электрогенератор; 23 - паровая турбина; 24 - пар; 25 - дымовые газы

- барботирование жидкой шлаковой ванны струями кислородовоздушной смеси;

- дожигание выходящих из жидкой ванны плавления-восстановительной печи газов кислородом;

- водяное охлаждение стен шлакового пояса;

- неконцентрированная непрерывная загрузка материалов в плавление-восстановительную печь.

Для удовлетворения запросов различных клиентов проектными организациями России разработаны модули Ромелт производительностью, тыс. т/год: 100 - 150 - модуль А, 250 - 300 - модуль В, 450 - 500 - модуль С, рассчитанные на использование индийских руд с содержанием железа 63 - 65% и смеси (50 - 50%) индийских бедных и африканских богатых углей. Разработанные модули (рис.2) предусматривают применение получаемого чугуна как непосредственно в сталеплавильном цехе, так и в качестве товарного чушкового чугуна. Побочным продуктом процесса является гранулированный шлак и энергетический пар. В состав модулей входят следующие основные агрегаты и системы:

- плавление-восстановительная печь Ромелт;

- высокотемпературный подогреватель ковшей;

- установка припечной грануляции шлака;

- котел-утилизатор;

- система деминерализации воды;

- система испарительного охлаждения;

- бункера для хранения материалов и система подачи материалов к бункерам;
- система газоочистки [2].

Таблица 2.1. - Технические характеристики основных агрегатов и систем модулей Ромелт

Характеристики	Модуль		
	А	В	С
Плавно-восстановительная печь Ромелт			
Число печей	1	1	2
Площадь пода, м ²	12	23	2×23
Удельная производительность, т/(м ² ·сут)	30	32,3	32,2
Средняя температура чугуна на выпуске, °С	1450	1450	1450
Потребление материалов, т/сут:			
руда	576	1176	2352
уголь	504	1008	2016
известь	72	172,2	254,5
Выход шлака, т/сут	160,8	331,2	662,4
Выход печных газов, тыс. м ³ /ч	37	76	152
Расчетная степень дожига, %	58	58	58
Температура газов, °С	1700	1700	1700
Состав газов, %	25,3 CO; 35,3 CO	3,4 H ₂ ; 21,3 H ₂ O	14,7 N ₂ -
Содержание O ₂ , %, в дутье нижних фурм	60	60	60
Расход O ₂ (95%) в нижнем фурмы, тыс. м ³ /ч	3,5	7,5	15
Расход O ₂ в верхнем фурмы, тыс. м ³ /ч	9,54	19,8	39,6
Котел-утилизатор			
Количество газов на выходе, тыс. м ³ /ч	55	110	220
Средняя температура, °С	210	210	210
Содержание влаги, г/м ³	140	140	140
Хим. состав газов, %	42,2 CO ₂	2,4 O ₂	55,4 N ₂
Паропроизводительность котла, т/ч	85	170	340
Давление пара, Мпа	4	4	4
Температура пара, °С	440	440	440
Система испарительного охлаждения			
Количество уносимого тепла, Гкал/ч	-	15	30
Паропроизводительность, т/ч	-	20	40
Давление пара, Мпа	-	1,5	1,5
Температура пара, °С	-	350	350
Система газоочистки			

Выход газов после очистки, тыс. м ³ /ч	130	275	550
Температура газа после очистки, °С	170	170	170
Содержание пыли после очистки, мг/м ³	50	50	50

Таблица 2.2. - Удельный расход материалов и выход побочной продукции процесса Ромелт, единиц/т чугуна

Расход	Модули А, В, С.
Железная руда, кг	1580 - 1585
Уголь, кг (Индия)	1345 - 1375
Известь, кг	170 - 175
Кислород, м ³	895 - 910
Сжатый воздух, м ³	300 - 315
Деминерализованная вода, м ³	6,5 - 7,0
Производство: Жидкий чугун, кг	1000
Гранулированный шлак, кг	440 - 445
Пар энергетических параметров, т	5,5 - 6,0
Электроэнергия, кВт·ч/т жидкого чугуна: Всего Избыточная энергия на сторону	1100-1200 420-650

3. Постановка задачи исследования.

Бакcharское железорудное месторождение является одним из крупнейших проявлений железной руды в России и мире, находится на территории Бакcharского района Томской области

Освоение Бакcharского железорудного месторождения Томской области позволит надолго обеспечить потребности металлургических заводов Южного Урала и Западной Сибири в товарной железной руде. Бакcharские бурые железняки требуют подготовки (обогащение и окускование) перед использованием в доменных печах. Исходная Бакcharская руда с содержанием общего железа 38 - 42% должна быть обогащена до содержания общего железа 49 - 62%.

Работы в этом направлении проводятся в ТПУ (кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики). В лабораторных условиях получены ТРМ из необогащенной Бакcharской руды. Приготовление ТРМ заключается в смешивании влажной торфомассы с железной рудой. При этом торф выступает как связующее вещество.

Цель данной работы: исследование различных свойств двух видов торфа 397 - М5 и 397 - М4. Определение их свойств при использовании в качестве восстановителей. Проведение процесса восстановления при температурах от 500°C до 1100°C. Определение опытным путем, содержание в восстановленных ТРМ железа общего, железа двухвалентного и железа металлического [5].

4. Объект и методы исследования

Вследствие благоприятного сочетания неисчерпаемых запасов железных руд и расположенных в непосредственной близости от месторождения железной руды больших ресурсов торфа появляется возможность организации металло-энерго-химического комбината, где торф будет служить металлургическим топливом, а продукты его переработки (газ, смола) химическим сырьем, источником энергии, минеральных удобрений, ядохимикатов и т. д.

Цель данной работы: исследование различных свойств двух типов наиболее распространенных торфов №397 - М4 и №397 - М5. Определение и оценка их свойств при использовании в качестве восстановителей. Проведение процесса восстановления при температурах от 500 до 1100°C. Определение опытным путем, содержания в восстановленных материалах железа (общего, двухвалентного и металлического).

4.1. Свойства Бокчарской руды

В качестве рудной составляющей использовали руду-сыпучку, отобранную в 2007г. методом скважинной гидродобычи вблизи с. Полынянка Бакчарского района. Руда представляет собой сыпучую массу бурого цвета, состоящую в основном, из округлых блестящих оолитов и бобовин гетита и гидрогетита. 86% всей массы руды представлено частицами размером 0,25 - 1,0мм. Влажность воздушно-сухой руды составила 8,4%, потери при прокаливании воздушно-сухого образца - 18%. Содержание железа общего по предварительным данным 39%.

4.2. Дозировка торфа

Методика смешивания и формования, дозировка руды и торфа.

Для приготовления ТРМ отобраны 2 технологические пробы торфа на участке №5 Васюганского торфяного месторождения. Свойства торфов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. - Свойства торфов

Шифр торфа	Месторождение, пункт отбора	Ботанический состав	Содержание, %	Тип, вид торфа
397-М5	Васюганское,	Сф. Фускум,	95	

Верховой фускум- торф	уч. 5 у с. Кр. Бакчар, п. 245 дет. разведки 1985	вереск, кустарнички, кора и древесина сосны	3 2	Верховой фускум-торф $R=3...4\% A^d$ $=1,4\%$
397-М4 Переходный осоково- сфагновый	Васюганское, уч. 5 у с. Кр. Бакчар, п. «Осока»	К. лазиокарпа, пушица, шейхцерия, вахта, сф. магелланикум, остатки древесины березы, сф. ангустифолиум	45 10 10 5 20 5 5	Переходный осоково- сфагновый $R=35\% A^d$ $=5,9\%$

В качестве рудной составляющей использовали руду-сыпучку, отобранную с площадки гидронамыва вблизи с. Полынянка Бакчарского района.

Сырой торф предварительно подсушивали до влажности 84 - 91%. С каждым образцом торфа приготовлены 4 состава ТРМ, содержание смесей 10% торфа 30% руды и 30% торфа 70% руды. ТРМ получали в следующей последовательности: сырую торфомассу выстилали слоем 1 - 2см и равномерно распределяли по нему измельченную руду. Для усреднения торфорудной массы ее дважды пропускали через шнековый механизм и затем формовали путем выдавливания в специальной матрице цилиндрические образцы диаметром 34 - 35мм. Сырые ТРМ затем сушили в условиях лабораторного помещения до постоянного веса (воздушно-сухое состояние).

4.3. Определение пластической прочности

Увлажненная до определенной влажности и тщательно перемешанная масса помещается в чашку и уплотняется до водонасыщенного состояния. Поверхность массы в чашках должна быть ровной. Чашка с массой помещается на площадку штатива таким образом, чтобы вершина конуса пластометра, подведенная к поверхности массы в чашке, находилась в центре этой поверхности. Стержень с конусом фиксируется винтом, а стрелка

индикатора выводится на нулевое значение. Начальная масса подвижной части пластометра (стержня, площадки, конуса) равна 140г и первое погружение конуса производится при этой нагрузке. Для того чтобы конус начал погружаться в массу необходимо ослабить фиксатор стержня. Максимальное погружение конуса определяется по шкале индикатора через 5 - 10 сек погружения, после чего стержень снова фиксируется. Далее на площадку стержня устанавливается новая нагрузка и вновь определяется глубина погружения конуса при новой суммарной нагрузке. Для получения достоверного результата необходимо провести определение при 5 - 7 различных нагрузках, величину которых увеличивают при каждом определении.

Пластическая прочность массы определяется по формуле:

$$P_m = K_a * F / h^2, \text{ Па}, \quad (5)$$

где F - нагрузка, кПа

h - глубина погружения конуса, мм;

K_a - константа конуса.

Значения константы составляют:

для конуса 30°; $K_a = 1,109 * 10^4$

для конуса 45°; $K_a = 0,661 * 10^4$

для конуса 60°; $K_a = 0,429 * 10^4$

для конуса 90°; $K_a = 0,194 * 10^4$

Из формулы следует, что зависимость $h=f(F)$ выражается прямой проходящей через начало координат. Поэтому по результатам опыта строится графическая зависимость и из начала координат через экспериментальные точки проводится прямая. Затем выбирается одно из измерений (h; F), точка, которая лежит на прямой, или любая другая точка на этой прямой и производится расчет P_T по формуле.

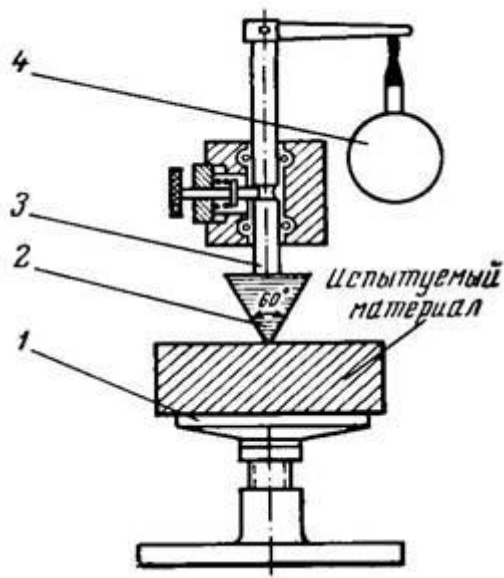


Рисунок 4.1. - Пластометр

1 – подъемный столик; 2 – рифленый конус; 3 – штанга;
4 – индикатор часового типа.

4.4. Высушивание ТРМ

При высушивании ТРМ теряют большое количество воды и при этом уменьшаются в размерах. Потеря влаги при естественной сушке составляет от 29 - 39% при содержании 10% торфа в смеси, до 56 - 65% при содержании торфа 30%. Соответственно, величина усадки образцов ТРМ изменяется от 17 - 30 до 33 - 58%. Продолжительность сушки составляет 5 - 6 дней. Основная часть влаги теряется в первые 2 - 3 дня сушки. Во время сушки происходит упрочнение ТРМ вследствие структурообразования в торфорудной смеси.

4.5. Определение прочности ТРМ на раздавливание

Для проведения испытаний применяют гидравлический пресс, представленный на рисунке Брикет, предназначенный для испытания, помещают между цилиндрическими вставками пресса или испытательной машины так, чтобы вставки упирались в центры его параллельных поверхностей, ограниченных длиной и шириной брикета.

Включают пресс или испытательную машину и равномерно повышают давление, доводя брикет до разрушения.

Записывают максимальное разрушающее брикет давление, зафиксированное силоизмерителем прессы или испытательной машины.

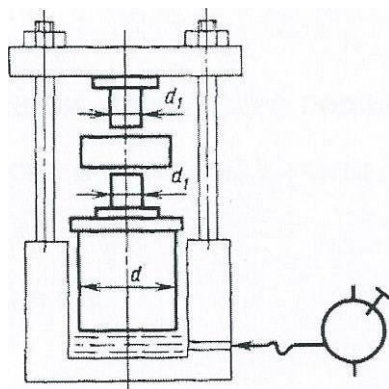


Рисунок 4.2. - гидравлический пресс

d - диаметр рабочего поршня прессы или испытательной машины, мм;
 d_1 - диаметр торцевой поверхности цилиндрической вставки, равный 30 мм. В том случае, когда рабочие поршни меньшего диаметра, мы подкладываем шайбы большего диаметра для равномерного распределения нагрузки.

4.6. Определение прочности ТРМ на истираемость

Истираемость определялась в стальном барабане с 15 шарами и ребром жесткости. 15г навески крупностью 15 - 20 мм загружались в барабан, который вращался в течение 15 минут со скоростью 100 об/мин. После этого взвешивался остаток на сите 3 мм. Коэффициент истираемости определяется как отношение веса фракции, прошедшей под сито 3 мм, к навеске и выражается в процентах:

$$K_{\text{ист.}} = \frac{P_{\text{мел.}}}{P_{\text{нав}}} \cdot 100\%, \quad (25)$$

где $P_{\text{мел.}}$ - вес фракции, прошедшей под сито 3 мм, определяется как разность между весом навески и остатком на сите 3 мм, г;

$P_{\text{нав.}}$ - вес навески, г

4.7. Восстановление ТРМ процессом коксования

Опыты по коксованию ТРМ проводятся (при интервале температур от 500 до 1000°C) с использованием тигельной печи ТЭП - 1. Коксование при температуре 1100°C, проводят в трубчатой печи СУОЛ - 0,44 12М - У42.

Установка для коксования представляет собой схему, состоящую из двух печей ТЭП - 1 и СУОЛ - 0,44 12М - У42, системы улавливания и конденсирования отходящих газов, трансформатора РНО - 250, потенциометра КСП - 4 в комплекте с термопарой.

Образцы ТРМ загружают в реторту. Для исключения утечки газов, выделяющихся в процессе коксования, крышка реторты уплотняется асбестовой нитью. Для отвода газов, выделяющихся в процессе коксования, выходной штуцер реторты соединяется гибким шлангом с системой конденсации и вентиляции установленной в помещении.

Подъем температуры в процессе коксования составляет 5°C за одну минуту, и осуществляется с помощью трансформатора РНО - 250. Показания температур при коксовании регистрируют на потенциометре КСП - 4 в комплекте с термопарой. После достижения установленной температуры, реторта вместе с образцами ТРМ охлаждается при нормальных условиях в атмосфере азота. Для этого к штуцеру крышки реторты присоединяют шланг кислородной подушки предварительно наполненной азотом и выдерживают в таком состоянии до полного охлаждения.

4.8. Определение прочности восстановленных ТРМ

Для проведения испытаний применяют процесс, указанный в пункте 4.5. Определение прочности ТРМ на раздавливание.

4.9. Определения железа общего, железа двухвалентного и железа металлического в продуктах прямого восстановления.

4.9.1. Определения железа общего

Подготовка образца.

Для надежного выполнения анализа восстановленный материал необходимо прокалить при 650 - 700°C в течение 10 - 15 мин. для удаления углеродистого остатка (полукокса, кокса). С этой целью фарфоровая чашка с навеской 0,5г измельченной под сито 0,25мм устанавливается в муфельную печь при температуре не выше 300°C, нагревается в течение 0,5 - 1 часа до 650 - 700°C и выдерживается при этой температуре 10 - 15 мин. Полнота удаления углеродистого вещества контролируется по отсутствию

темноокрашенных частиц в характерной для окислов железа коричневой массе прокаленного остатка.

Растворение.

Прокаленный остаток из фарфоровой чашки переносят количественно в коническую колбу емкостью 50 - 100мл, просушивают 10мл концентрированной HCl и 0.5мл концентрированного раствора хлористого олова. Накрыв колбу часовым стеклом, нагревают раствор, не допуская бурного кипения и выдерживают на плитке, до полного растворения или до образования нерастворимого остатка, характерного для данной руды. По предварительным данным при нагревании Бакcharской железной руды с концентрированной HCl в течение 40мин железо руды практически полностью переходит в раствор и остается 24% нерастворимого остатка. При необходимости осадок может быть отфильтрован. В данной работе фильтровались составы, содержащие 30% торфа.

Восстановление железа до Fe^{2+}

После окончания растворения, ВМ смывают с часового стекла и стенок колбы небольшим объемом воды. Если раствор не окрашен в желтый цвет хлорного железа, значит, хлористое олово добавлено в избытке и его окисляют, добавляя по каплям раствор перманганата калия ($KMnO_4$ 2 - 3% р-р) до получения устойчивой слабожелтой окраски. Затем раствор нагревают почти до кипения и восстанавливают Fe^{3+} , осторожно приливая разбавленный раствор $SnCl_2$ до исчезновения желтой окраски. Для надежности восстановления допускается избыток раствора $SnCl_2$ не больше 1 - 2капель. Восстановленный раствор немедленно переводят в коническую колбу емкостью 500мл, содержащую 40мл серной кислоты (разб. 1:4), обмывают стенки колбы холодной водой, разбавляют ею раствор до 300мл и перемешивают. Затем немедленно приступают к титрованию.

Титрование восстановленного раствора железа

Для титрования отбирают из полученного раствора аликвоту объемом 100мл, добавляют 10мл раствора дифениламино-сульфоната и сразу титруют

рабочим раствором бихромата калия (Т - 0,005585г железа на 1мл). Раствор в начале приливают со скоростью примерно 1мл за 1,5сек, а в конце, когда окраска из голубоватой переходит в салатнозеленую, добавляют его по каплям, перемешивая после прибавления каждой капли. Концом титрования считают момент, когда появившаяся серая окраска от следующей капли раствора бихромата переходит в темно-фиолетовую, уже не изменяющуюся при дальнейшем прибавлении раствора. Отсчет показаний на бюретке ведут с точностью до 0,05мл.

Процентное содержание железа в восстановленном материале определяют по формуле:

$$\text{Fe} = \frac{T \cdot V \cdot K}{H} \cdot 100\%, \quad (26)$$

где V- объем раствора бихромата, пошедшего по титрование, мл;

T-титр раствора бихромата 0,005585г железа на 1мл раствора;

H- навеска восстановленного материала, г;

K - поправка на объем аликвоты (общий объем раствора/объем аликвоты).

Анализ выполняют в двух параллельных навесках и окончательный результат находят как среднее арифметическое из двух параллельных опытов при расхождении между ними не более 0,2 [6].

4.9.2. Определения железа двухвалентного

Фазовое состояние железа в продуктах восстановления

В продуктах восстановления одновременно могут присутствовать не более двух валентных состояний железа

а) $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$

б) FeO/Fe

Первый случай имеет место на ранних стадиях восстановления, когда удаляется около 30% исходного кислорода Fe_2O_3 . Обычно эта стадия протекает быстро уже при температурах 600-800°C. Для превращения $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ нужны более высокие температуры. С высокой скоростью эта стадия протекает при температуре выше 900°C. Таким образом, при

температурах восстановления ниже 800°C следует ориентироваться на фазовый состав $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$, а при более высоких - на фазовый состав FeO / Fe .

В зависимости от фазового состояния железа методика анализа на железо закисное видоизменяется. При наличии в пробе одновременно металлического Fe и закисного Fe^{2+} железа в раствор переходят обе фазы в виде Fe, так как они находятся в тесном контакте в зернах руды. В дальнейшем истинное содержание Fe находят по разности между суммарным содержанием ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^0$) и содержанием Fe^0 , найденным отдельным анализом на железо металлическое. Анализ мешают продукты разложения торфа (полукоксы, коксы), которые необходимо отфильтровать перед титрованием.

Выполнение анализа

Для определения содержания Fe^{2+} навеску обрабатывают кислотами при нагревании и предохранении раствора от контакта с воздухом. В случае отсутствия Fe^0 в раствор переходит железо Fe^{2+} и Fe^{3+} в тех же соотношениях, что и в твердом веществе.

При анализе проб, не содержащих Fe^0 , навеску восстановленного материала массой 0,5г помещают в коническую колбу емкостью 250мл, засыпают в нее 2г бикарбоната натрия и приливают 50мл разбавленной 1:2 HCl. Колбу закрывают насадкой с гидрозатвором, содержащим 20 - 30см 4 - 5% раствора бикарбоната натрия. Гидрозатвор служит для изоляции раствора от наружного воздуха. Содержимое колбы быстро нагревают до кипения и слабо кипятят в течение 20 - 40мин, пока объем раствора не уменьшится примерно наполовину. При растворении не допускается прекращение кипения во избежание засасывания раствора из гидрозатвора и попадания воздуха в реакционную колбу.

После растворения колбу снимают с плитки и быстро охлаждают. При охлаждении раствор из гидрозатвора засасывается в колбу. Добавляют через гидрозатвор 120см разбавленной (1:25) серной кислоты и перемешивают. После охлаждения раствора отфильтровывают продукты термического

разложения торфа на широкопористом стеклянном фильтре №161. Фильтрование следует провести быстро во избежание окисления Fe^{2+} . В случае незначительной концентрации углеродистых частиц фильтрование не требуется. В данной работе фильтровался раствор состава 30% торф 70% руда.

В раствор добавляют 10мл раствора дифениламиносульфоната натрия и титруют раствором бихромата калия. Раствор бихромата в начале приливают со скоростью примерно 1мл за 1,5сек, а в конце, когда окраска переходит из светло-зеленой со слабым голубоватым оттенком в салатно-зеленую, добавляют его по каплям, перемешивая после прибавления каждой капли. Концом титрования считают момент, когда появившаяся серая окраска от следующей капли бихромата переходит в темно-фиолетовую, уже не изменяющуюся при дальнейшем прибавлении раствора. Отчет показаний на бюретке ведут с точностью до 0,05мл. Содержание Fe в % определяют по формуле:

$$\text{Fe}^{2+} = \frac{T \cdot V}{H} \cdot 100\% \quad (27)$$

где Т-титр раствора бихромата калия, 0,005585 г Fe на 1см³.

V-объем раствора бихромата, израсходованный на титрование, мл;

H - навеска пробы, г.

При анализе проб, содержащих Fe^0 , навеску 0,5г помещают в коническую колбу емкостью 250мл, всыпают в нее около 0,1г двууглекислого натрия, приливают 10 - 15мл серной кислоты, разбавленной 1:9. Накрыв колбу часовым стеклом, кипятят на плитке 5мин. После этого в колбу быстро всыпают 2г двууглекислого натрия и немедленно приливают 50мл разбавленной 1:2 HCl. Быстро закрывают колбу гидрозатвором с раствором бикарбоната и ставят на горячую плитку. Дальнейший ход анализа таков же, как и в случае отсутствия в пробе Fe^0 . По формуле находят суммарное содержание Fe^{2+} и Fe^0 (ΣFe) [7].

4.9.3. Определения железа металлического

Сущность метода заключается в селективном растворении железа металлического при обработке продуктов восстановления раствором хлорного железа ($\text{pH}=1,0 \pm 0,05$) в присутствии хлористого калия и титровании двухвалентного железа раствором бихромата калия в присутствии индикатора дифениламинсульфоната натрия.

Выполнение анализа

Навеску восстановленного ТРМ массой 0,5г (при массовой доле металлического железа более 92% масса навески не более 0,45г) помещают в сухую коническую колбу вместимостью 250см³, приливают 50см раствора хлорного железа и перемешивают 30 - 60мин на магнитной мешалке или на встряхивающей машине. Раствор переливают мерную колбу вместимостью 250см³, доливают водой до метки и перемешивают. Затем раствор фильтруют через сухой складчатый фильтр в сухой стакан, отбрасывая первые порции фильтрата. Результаты анализов на определения $\text{Fe}_{\text{мет}}$ показали, что фильтрованием можно пренебречь, т.к. сходимость результатов отфильтрованного и неотфильтрованного раствора 100%. Затем отбирают аликвоту 50см³; и помещают ее в коническую колбу вместимостью 500мл, приливают 300 - 350мл воды, 20мл смеси кислот, 2мл раствора индикатора и титруют раствором двуххромовокислого калия до устойчивой темно - фиолетовой окраски. При массовой доле металлического железа менее 5% используют для титрования разбавленный раствор двуххромовокислого калия (основной раствор разбавить в 4 раза).

Массовую долю металлического железа ($X_{\text{Fe мет}}$) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_{\text{Fe мет}} = \frac{5 \cdot V \cdot T}{3 \cdot m} \cdot 100\%, \quad (28)$$

где Т- титр раствора двуххромовокислого калия по железу, г/мл;

V - объем раствора двуххромовокислого калия, израсходованный на титрование раствора анализируемой пробы, см³;

3 - коэффициент, учитывающий долю металлического железа в общем количестве железа, определенном при титровании;

5 - поправка на аликвоту;

m - масса навески восстановленного ТРМ, г [8].

4.9.4. Расчет степени восстановления и степени металлизации

Стехиометрия реакции $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C}$

Степень восстановления определяется как отношение отнятого при восстановлении кислорода окисла к исходному содержанию кислорода окисла. В случае восстановления ТРМ степень восстановления α находят по формуле:

$$\alpha = \frac{O_{\text{отн}}}{O_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (29)$$

где α - степень восстановления, %;

$O_{\text{исх}}$ - содержание кислорода Fe_2O_3 руды до восстановления, %;

$O_{\text{отн}}$ - отнятое при восстановлении содержание кислорода, %;

$$O_{\text{отн}} = O_{\text{исх}} - O_{\text{ост}}, \quad (30)$$

Отнятое содержание кислорода руды находят по разнице между исходным и остаточным содержанием кислорода руды. При расчете исходного содержания кислорода в окислах руды считаем, что в исходной руде все железо находится в виде Fe_2O_3 . Таким образом, из стехиометрии окисла содержание $O_{\text{исх}}$ составляет:

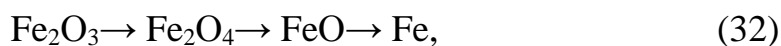
$$O_{\text{исх}} = \text{Fe}_{\text{общ}} \cdot 0,43, \quad (31)$$

где $\text{Fe}_{\text{общ}}$ - общее содержание железа в восстановленном ТРМ, %.

Остаточное содержание кислорода в окислах руды ТРМ определяют по результатам анализа, восстановленного ТРМ на $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Fe^{2+} , $\text{Fe}_{\text{мет.}}$, где Fe^{2+} - содержание 2-х валентного железа в восстановленном ТРМ, %.

$\text{Fe}_{\text{мет.}}$ - содержание металлического железа в восстановленном ТРМ, %.

Из физикохимии восстановления окислов железа известно, что процесс протекает ступенчато, через промежуточные фазы:



Из практики восстановления известно, что одновременно в восстановленном продукте присутствует не более двух фаз, причем при низких температурах (ниже 800°C) совместно присутствует Fe_2O_3 и FeO . При более высоких температурах (800°C и выше), появляется металлическое железо и одновременно в продуктах восстановления находится Fe^{+2} и $\text{Fe}_{\text{мет}}$. Отсюда расчет остаточного кислорода $\text{O}_{\text{ост}}$ проводят по-разному, в зависимости от температуры восстановления.

Расчет остаточного кислорода $\text{O}_{\text{ост}}$ и степени восстановления α в продуктах восстановления, прогретых до 500 - 800°C.

Остаточное содержание кислорода железа окисного ($\text{O}_{\text{ок}}$) и закисного ($\text{O}_{\text{зак}}$):

$$\text{O}_{\text{ост}} = \text{O}_{\text{ок}} + \text{O}_{\text{зак}}, \quad (33)$$

где $\text{O}_{\text{ок}} = \text{Fe}^{+3} \cdot 0,43$

$$\text{O}_{\text{зак}} = \text{Fe}^{+2} \cdot 0,29$$

Содержание находят непосредственно анализом восстановленного материала

Содержание Fe^{+3} находят по разности между $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Fe^{+2} .

$$\text{Fe}^{+3} = \text{Fe}_{\text{общ}} - \text{Fe}^{+2}, \quad (34)$$

Таким образом, окончательно уравнение для расчета степени восстановления ТРМ в интервале температур 500 - 800°C будет иметь следующий вид:

$$\alpha = \frac{(\text{Fe}_{\text{общ}} \cdot 0,43 - (\text{Fe}_{\text{общ}} - \text{Fe}^{+2}) \cdot 0,43 + \text{Fe}^{+2} \cdot 0,29}{\text{Fe}_{\text{общ}} \cdot 0,43} \cdot 100\%, \quad (35)$$

Расчет остаточного кислорода $\text{O}_{\text{ост}}$ и степени восстановления α в продуктах восстановления, прогретых до 900 - 1100°C.

В продуктах восстановления, полученных в интервале температур 900 - 1100°C, содержатся Fe^{+2} и Остаточное содержание кислорода определяют по содержанию Fe^{+2} :

$$\text{O}_{\text{ост}} = \text{Fe}^{+2} \cdot 0,29, \quad (36)$$

При этом содержание $\text{Fe}_{\text{мет}}$ находят по разности между $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и $\text{Fe}_{\text{мет}}$

$$Fe^{+2} = Fe_{\text{общ}} - Fe_{\text{мет}}, \quad (37)$$

Содержание определяют в продуктах восстановления непосредственно анализом.

Степень восстановления рассчитывают по уравнению:

$$\alpha = \frac{(Fe_{\text{общ}} \cdot 0,43 - (Fe_{\text{общ}} - Fe_{\text{мет}}) \cdot 0,29)}{Fe_{\text{общ}} \cdot 0,43} \cdot 100\%, \quad (38)$$

Расчет степени металлизации:

$$\psi = \frac{Fe_{\text{мет}}}{Fe_{\text{общ}}} \cdot 100\%, \quad (39)$$

5. Результаты и их обсуждения

Таблица 5.1. - Дозировка торфа (397 - М5 и 397 - М4) и Бокчарской руды для получения ТРМ

Вариант №	состав торфо-руды сухих (% вес)	смесь №	смесь торфов при составе 397-м5/397-м4 (%)	W=85%, (г)	вес руды, (г)	вес торфа W=85%, (г)	
						397-м5	397-м4
1	10/90	1	50/50	520	700	230	237
2	10/90	2	70/30	520	700	331	133
3	30/70	1	50/50	805	255	366	356
4	30/70	2	70/30	805	255	513	213
				2650	1910	1591	1060

В данной работе были исследованы образцы ТРМ Бакчарской железной руды и двух видов торфа Васюганского месторождения, как в воздушно сухом состоянии, так и после восстановления.

Основным ТРМ является руда-сыпучка, отобранная с гидронамыва вблизи с. Полынянка Бакчарского района. Руда представляет собой сыпучую масс бурого цвета, содержание железа в руде по предварительным данным составляет 39%. Топливом и связующим для получения ТРМ служили два вида торфа, верховой фускум-торф (№397 - М5) и переходный осоково-сфагновый (№397 - М4) отобранные на участке Васюганского торфяного месторождения. Свойства торфов указаны в таблице 4.

Для приготовления ТРМ отобраны 2 технологические пробы торфа на участке №5 Васюганского торфяного месторождения. ТРМ получали в следующей последовательности: сырую торфомассу выстилали слоем 1 - 2 см и равномерно распределяли по нему измельченную руду. Для усреднения торфорудной массы ее дважды пропускали через шнековый механизм и затем формовали путем выдавливания в специальной матрице цилиндрические образцы диаметром 34 - 35мм. Сырую торфорудную массу сушили в условиях лабораторного помещения до постоянного веса (воздушно-сухое состояние). Во время сушки периодически измеряли размеры и массу формовок (табл.5.2.,5.3,5.4. и 5.5.).

Таблица 5.2. - Результаты определения усадки воздушно - сухой торфорудной массы

состав торф/руды 10/90	02.07.15г.				03.07.15г.				06.07.15г				07.07.15г				08.07.15г				09.07.15г				13.07.15г				
Смесь торфов при составе 397м5/397м4 50/50	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	d _{с м}	h _{с м}	m _{с м}	v _{с м³}	
1	3.4	3.3	50.6	3.0	3.2	3.1	46.7	2.5	3.1	2.9	3.6	2.3	3.1	2.9	3.5	2.2	3.1	2.9	3.5	2.2	3.1	2.9	3.4	2.2	3.3	2.9	3.4	2.6	20
2	3.4	2.1	3.8	1.9	3.2	2.1	3.3	1.6	3.1	1.9	2.4	1.4	3.1	1.9	3.3	1.3	3.1	1.9	3.5	1.3	3.1	1.9	2.4	1.3	3.3	1.9	2.3	1.1	13
3	3.4	1.6	2.4	1.4	3.2	1.6	2.3	1.3	3.1	1.5	1.8	1.1	3.1	1.5	1.8	1.1	3.1	1.5	1.8	1.1	3.1	1.5	1.8	1.1	3.3	1.5	1.8	1.1	10
V _{ср}	21				18				15				15				15				15				14				
Усадка, %	0				14.28				28.57				28.57				28.57				28.57				33.33				

d-диаметр формовки, см; h-высота формовки, см; m-масс формовки, г; v-объем формовки, см³

Таблица 5.3. - Результаты определения усадки воздушно - сухой торфорудной массы

состав торф/руды 10/90	06.07.15г.				07.07.15г.				08.07.15г.				09.07.15г.				10.07.15г.				13.07.15г.				17.07.15г.			
Смесь торфов при составе 397м5/397м4 70/30	d см м	h см м	m г м	v см ³ м	d см м	h см м	m г м	v см ³ м	d см м	h см м	m г м	v см ³ м	d см м	h см м	m г м	v см ³ м	d см м	h см м	m г м	v см ³ м	d см м	h см м	m г м	v см ³ м	d см м	h см м	m г м	v см ³ м
1	3.4	3.1	47.8	2.3	3.3	3.1	41.5	2.5	3.2	3.3	3.7	2.4	3.1	2.9	3.5	2.2	3.1	2.9	3.5	2.2	3.1	2.9	3.4	2.2	3.3	2.9	3.4	2.2
2	3.4	2.4	3.7	2.1	3.3	2.3	3.2	1.9	3.2	2.3	2.9	1.8	3.1	2.3	3.6	1.7	3.1	2.3	3.5	1.7	3.1	2.3	2.4	1.7	3.3	2.3	2.5	1.6
3	3.4	1.6	2.4	1.4	3.3	1.5	2.1	1.3	3.2	1.5	1.8	1.2	3.1	1.5	1.8	1.1	3.1	1.5	1.8	1.1	3.1	1.5	1.8	1.1	3.3	1.5	1.6	1.1
V _{ср}	21				18				18				16				16				16				16			
Усадка, %	0				14.28				14.28				23.80				23.80				23.80				23.80			

d-диаметр формовки, см; h-высота формовки, см; m-масс формовки, г; v-объем формовки, см³

Таблица 5.4. - Результаты определения усадки воздушно - сухой торфорудной массы

состав торф/руды 30/70	06.07.15г.				07.07.15г.				08.07.15г.				09.07.15г.				10.07.15г.				13.07.15г.				17.07.15г.			
Смесь торфов при составе 397м5/397м4 50/50	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v _c с м ³
1	3. 4	3. 1	3 4.	2 8	3. 3	3	3 1	2 5	3. 2	3	2 5.	2 4	3. 1	2. 8	2 2.	2 1	3. 1	2. 7	1 8.	2 0	2. 7	2. 5	1 4.	1 5	2. 7	2. 5	1 4.	15
2	3. 4	2. 3	2 6.	2 1	3. 3	2. 2	2 3.	2 0	3. 2	2. 2	1 9.	1 7	3. 1	2. 1	1 7.	1 6	3. 1	2 3.	1 9	1 5	2. 7	1. 9	1 0.	1 1	2. 6	1. 9	1 0.	9
3	3. 4	1. 5	1 6.	1 3	3. 3	1. 4	1 4.	1 2	3. 2	1. 4	1 1.	1 1	3. 1	1. 4	9. 6	1 0	3 2	1. 2	7. 4	8 6	2. 6	1. 2	6. 7	6	2. 6	1. 2	6. 7	6
V _{ср}	20				19				17				15				14				10				10			
Усадка, %	0				5				15				25				30				50				50			

d-диаметр формовки, см; h-высота формовки, см; m-масс формовки, г; v-объем формовки, см³

Таблица 5.5. - Результаты определения усадки воздушно - сухой торфорудной массы

состав торф/руды 30/70	07.07.15г.				08.07.15г.				09.07.15г.				10.07.15г.				13.07.15г.				16.07.15г.				17.07.15г.			
Смесь торфов при составе 397м5/397м4 50/50	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v с м ³	d с м	h с м	m с м	v _c с м ³
1	3. 4	3. 8	4 0. 5	3 4	3. 3	3. 7	3 4. 4	3 0	3. 3	3. 5	3 0. 4	2 8	3. 1	3. 4	2 4	2 5	2. 9	3 6. 8	1 8	1 9	2. 8	3 6. 2	1 8	2. 8	3 6. 4	1 4	18	
2	3. 4	2 2. 2	2 2. 2	1 8	3. 3	2 9. 2	1 6 2	1 2	3. 3	1. 8	1 6. 8	1 4	3. 1	1. 8	1 2. 7	1 3	2. 9	1. 7	9. 2	1 1	2. 8	1. 6	8. 9	1 0	2. 8	1. 6	9	10
3	3. 4	1. 3	1 4. 2	1 2	3. 3	1. 3	1 1. 5	1 0	3. 3	1. 2	9. 8	1 0	3. 1	1. 1	7. 3	8 9	2. 9	1 8	5. 8	6 8	2. 8	1 7	5. 7	6	2. 8	1 8	5. 8	6
V _{ср}	21				18				17				15				12				11				11			
Усадка, %	0				14.20				19.04				28.57				42.85				47.61				47.61			

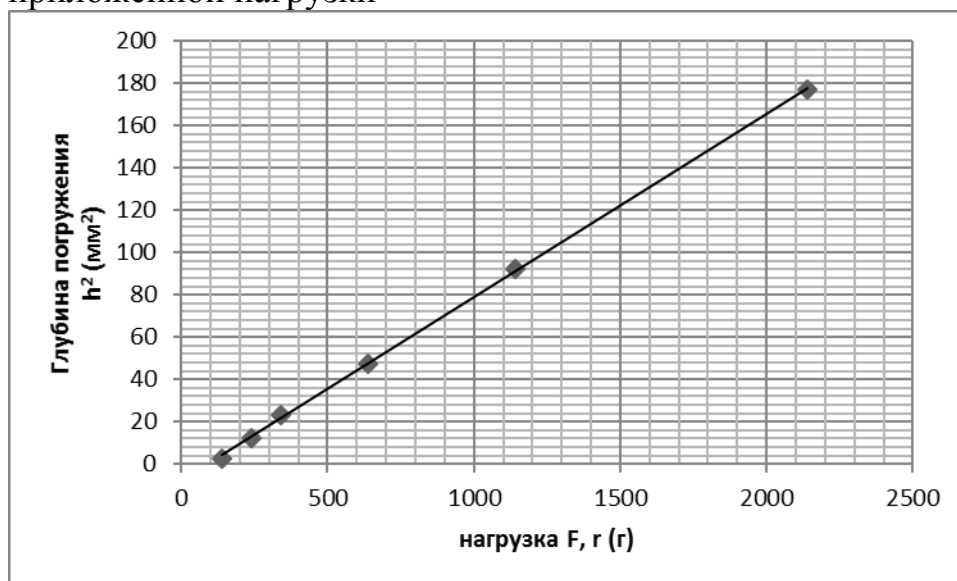
d-диаметр формовки, см; h-высота формовки, см; m-масс формовки, г; v-объем формовки, см³

Проводили исследование пластической прочности сырой торфорудной массы с помощью конического пластометра, предназначенного для определения пластической прочности достаточно жестких и пластичных масс. Исследования пластической прочности сырой торфорудной массы указаны в таблице 5.6.

Таблица 5.6. - Пластическая прочность торфорудной массы

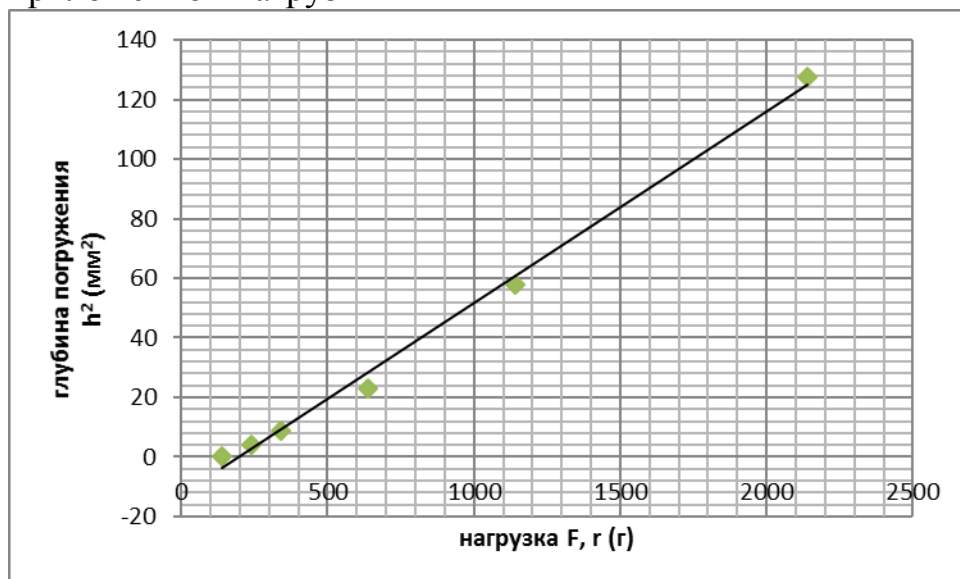
F, г	Соотношение торфоруды по массе в-ва 10:90								Соотношение торфоруды по массе в-ва 30:70							
	397/м5(50%)=397/М4(50%)				397/м5(70%)=397/М4(30%)				397/м5(50%)=397/М4(50%)				397/м5(70%)=397/М4(30%)			
	h	h _{п.п}	h ²	P _м , кПа	h	h _{п.п}	h ²	P _м , кПа	h	h _{п.п}	h ²	P _м , кПа	h	h _{п.п}	h ²	P _м , кПа
140	1.6	1.6	2.6		0.5	0.5	0.25		2.5	2.5	6.3		1.4	1.4	2	
240	1.9	3.5	12.3		1.5	2	4		2.25	4.75	22.6		2.25	3.65	13.3	
340	1.3	4.8	23		1	3	9		1.3	6.05	36.6		1.8	5.45	30	
640	2.1	6.9	47.6		1.8	4.8	23		3.3	9.35	87.5	144	2.8	8.25	68	185
1140	2.7	9.6	92.2	137	2.8	7.6	57.8	218	3.9	13.25	175.6		4.1	12.36	152.6	
2140	3.7	13.3	176.9		3.7	11.3	127.7		6.4	19.65	386.1		4.8	17.15	294.2	

Рисунки 5.1. - График зависимости глубины погружения конуса от приложенной нагрузки



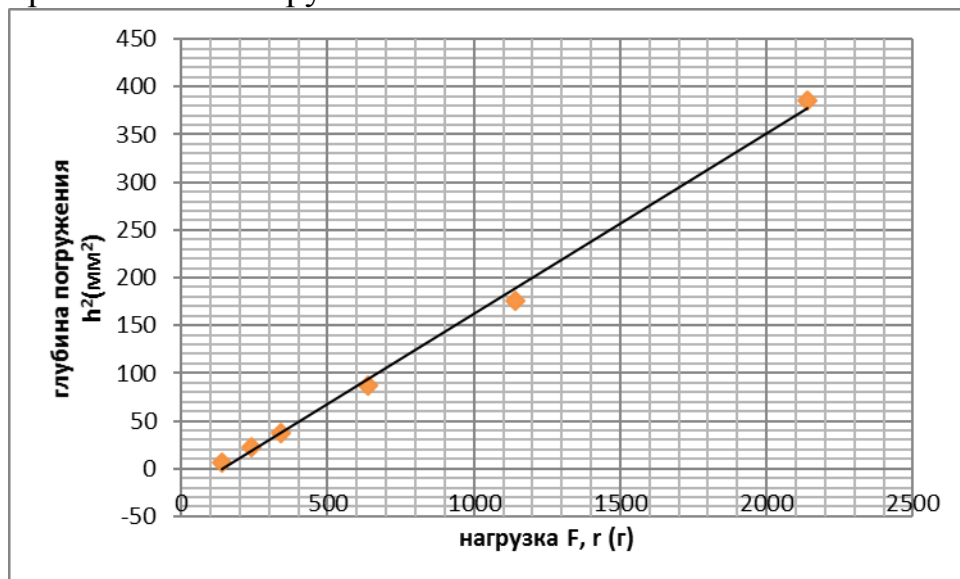
Нагрузка, F, г	Глубина погружения, h ²
140	2,6
240	12,3
340	23
640	47,6
1140	92,2
2140	176,9

Рисунки 5.2. - График зависимости глубины погружения конуса от приложенной нагрузки



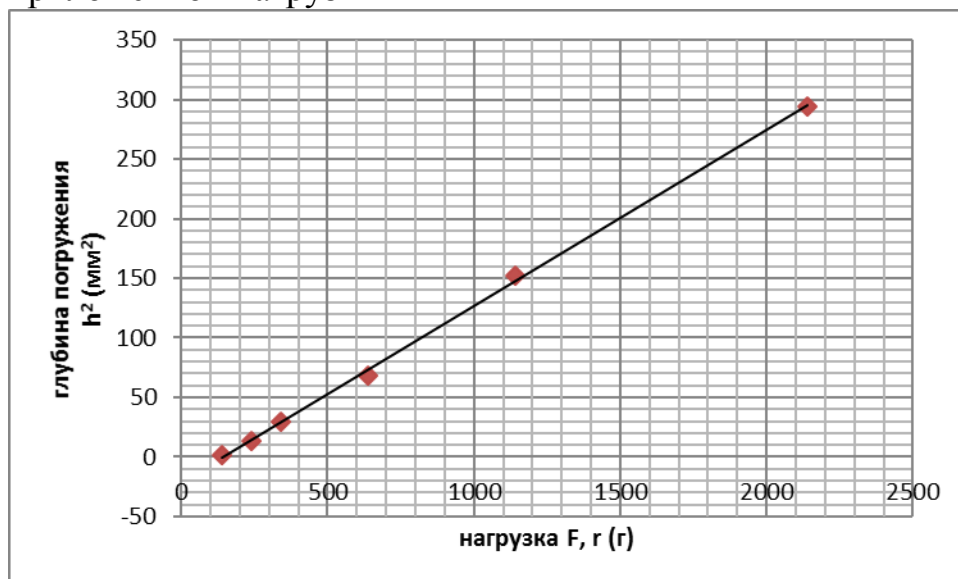
Нагрузка, F, г	Глубина погружения, h^2
140	0,25
240	4
340	9
640	23
1140	57,8
2140	127,7

Рисунки 5.3. - График зависимости глубины погружения конуса от приложенной нагрузки



Нагрузка, F, г	Глубина погружения, h^2
140	6,3
240	22,6
340	36,6
640	87,5
1140	175,6
2140	386,1

Рисунки 5.4. - График зависимости глубины погружения конуса от приложенной нагрузки



Нагрузка, F, r	Глубина погружения, h²
140	2
240	13,3
340	30
640	68
1140	152,6
2140	294,2

Таблица 5.7. - Результаты определения пластической прочности торфорудной массы

Нагрузка, F, r	Глубина погружения, h²	Прочность, Р _м , кПа
1140	92.2	137
1140	57.8	218
640	87.5	144
640	68	185

Воздушно-сухие и восстановленные ТРМ испытывали на механическую прочность. Проводили испытания на раздавливание, на лабораторном гидравлическом прессе ИГЛ-5 (таблицы 5.8., 5.9., 5.10., 5.11. и 5.12.).

Из таблицы 5.8. видно, что в варианте №1 и варианте №2 механическая прочность на раздавливание значительно меньше чем в варианте №3 и варианте №4.

Так же наблюдается из таблиц 5.9., 5.10., 5.11., 5.12. после коксования в варианте №1 и варианте №2 увеличение механической прочности на раздавливание при температуре 1100°C, а в варианте №3 и варианте №4 уменьшение механической прочности на раздавливание. Влияние оказывает дозировка торфоруды.

Таблица 5.8. - Определение прочности воздушно-сухой торфорудной массы на раздавливание

Варианты, №	h, см	d, см	$P_{\text{исход}}, \text{кг/см}^2$	$P_{\text{ист}}, \text{кг/см}^2$	$P_{\text{образ}}, \text{кг/образ}$	Механическая прочность на раздавливание, $R_{\text{кг/см}^2}$
1	2,7	3,1	2,9	2,6	130	17,2
	2,7	3,1	2,9	2,6	130	17,2
	2,7	3,1	2,7	2,4	120	15,9
2	2,1	3,1	3,2	2,9	145	19,2
	2,1	3,1	3,4	3,1	155	20,5
	2,1	3,1	3,1	2,8	140	18,5
3	2,2	2,8	5,2	4,9	245	39,8
	2,0	2,7	6,6	6,3	315	55
	2,3	2,8	4,7	4,4	220	35,7
4	1,8	2,7	6,3	6,0	300	52,4
	1,8	2,7	7,2	6,9	345	60,3
	2,3	2,7	5,3	5,0	250	43,7

$P_{\text{исход}}$ - давление по манометру пресса в кг/см^2 ; $P_{\text{ист}}$ - давление по манометру с поправкой на холостой ход $0,3\text{кг/см}^2$; $P_{\text{образ}}$ - давление на образец торфорудного материала.

Таблица 5.9. - Определение прочности восстановленных ТРМ (вариант №1)

Температура, °С	№	Диаметр, см	Высота, см	Давление по манометру, Р _М кг/см ²	Истинное давление на образец, Р кг	Прочность на раздавливание, Р кг/см ²	Средняя прочность на раздавливание, Р кг/см ²
500	1	3	1,7	0,15	7,5	1,1	1,1
	2	3	1,7	0,15	7,5	1,1	
	3	3	1,7	0,15	7,5	1,1	
600	1	3	1,3	0,25	12,5	1,78	1,9
	2	3	1,5	0,35	17,5	2,5	
	3	3	1,1	0,2	10	1,42	
700	1	Разрушился при извлечении					0,88
	2	3,1	1,3	0,2	10	1,33	
	3	3,1	1,2	0,2	10	1,33	
800	1	3,1	1,3	0,15	7,5	1,1	1,84
	2	3,1	1,4	0,1	5	1,5	
	3	3,1	1,4	0,05	2,5	3	
900	1	Разрушились при извлечении					-
	2						
	3						
1000	1	2,7	2,2	0,2	10	87,4	87,4
	2	Разрушились при извлечении					
	3						
1100	1	2,2	2,1	13,7	700	184,2	306,6
	2	2	2,1	14,7	685	218,1	
	3	1,2	1,8	11,7	585	517,6	

Примечание. Давление по манометру дано с поправкой 0,3

Таблица 5.10. - Определение прочности восстановленных ТРМ (вариант №2)

Температура, °C	№3	Диаметр, см	Высота, см	Давление по манометру, $P_{\text{М}}$, кг/см^2	Давление на образец, $P_{\text{кг}}$	Прочность на раздавливание, $R_{\text{кг/см}^2}$	Прочность средняя, $R_{\text{кг/см}^2}$
500	1	2,4	1,9	0,4	20	4,4	5,8
	2	2,4	1,5	0,5	25	5,5	
	3	2,4	1,8	0,7	35	7,7	
600	1	2,4	1,5	8,2	410	90,7	98,1
	2	2,4	1,3	10,2	510	112,8	

	3	2,4	1,7	8,2	410	90,7	
700	1	2,4	1,6	0,55	27,5	6,1	5,7
	2	2,4	1,4	0,5	25	5,5	
	3	2,4	2,4	0,5	25	5,5	
800	1	2,3	1,8	0,4	20	4,8	4,8
	2	2,3	1,9	0,45	22,5	5,4	
	3	2,3	2,2	0,35	17,5	4,2	
900	1	2,2	1,3	0,2	10	2,6	2,4
	2	2,2	1,4	0,2	10	2,6	
	3	2,2	1,8	0,15	7,5	2	
1000	1	2,3	1,5	0,1	5	1,2	1,7
	2	2,2	1,6	0,1	5	1,3	
	3	2,2	2	0,2	10	2,6	
1100	1	1,5	1,4	12,7	635	360,8	164,4
	2	2,8	1,9	1,7	85	13,8	
	3	2,1	2,3	8,2	410	118,5	

Примечание. Давление по манометру дано с поправкой 0,3

Таблица 5.11. - Определение прочности восстановленных ТРМ (вариант №3)

Таблица 3.11. Определение прочности восстановленных ГГМ (вариант 3.12)							
Температура, °С	№	Диаметр, см	Высота, см	Давление по манометру, Р _М кг/см ²	Давление на образец, Р кг	Прочность на раздавливание, Р кг/см ²	Прочность средняя, Р кг/см ²
500	1	3	1,8	0,15	7,5	1,1	1,06
	2	3	2	0,2	10	0,7	
	3	3	1,7	0,1	5	1,4	
600	1	3	1,5	0,1	5	1,4	1,16
	2	3	2	0,2	10	0,7	
	3	3	1,9	0,1	5	1,4	
700	1	3	1,6	0,1	5	1,4	0,93
	2	Разрушился при извлечении					
	3	3	2,7	0,1	5	1,4	
800	1	3	1,2	0,1	5	1,4	0,46
	2	Разрушились при извлечении					
	3						
900	1	Разрушились при извлечении					-
	2						
	3						
1000	1	Разрушился при извлечении					0,53
	2	2,8	1,6	0,2	10	1,6	
	3	Разрушился при извлечении					
1100	1	Разрушились при извлечении					-
	2						
	3						

Примечание. Давление по манометру дано с поправкой 0,3

Таблица 5.12. - Определение прочности восстановленных ТРМ (вариант №4)

Температура, °С	№4	Диаметр, см	Высота, см	Давление по манометру, Р _М кг/см ²	Давление на образец, Р кг	Прочность на раздавливание, Р кг/см ²	Прочность средняя, Р кг/см ²
500	1	2,4	0,9	0,5	25	5,5	5,7
	2	2,4	1,6	0,55	27,5	6,1	
	3	2,4	1,5	0,5	25	5,5	
600	1	2,4	1,7	0,4	20	4,4	5,1
	2	2,4	1,1	0,5	25	5,5	
	3	2,4	1	0,5	25	5,5	
700	1	2,4	1,1	0,5	25	5,5	4,6
	2	2,4	1,2	0,35	17,5	3,9	

	3	2,4	0,9	0,4	20	4,4	
800	1	2,4	1	9,7	485	107,3	39,8
	2	2,4	0,9	0,55	27,5	6,1	
	3	2,4	0,8	0,55	27,5	6,1	
900	1	2,3	1,4	0,1	5	1,2	1,2
	2	2,3	1,7	0,1	5	1,2	
	3	2,3	1,4	0,1	5	1,2	
1000	1	2,2	1,4	0,2	10	2,6	2,6
	2	2,2	1,4	0,2	10	2,6	
	3	2,2	1,2	0,2	10	2,6	
1100	1	Разрушился при извлечении					1,7
	2	2,2	1,4	0,1	5	1,3	
	3	2,1	2,1	0,1	5	1,4	

Примечание. Давление по манометру дано с поправкой 0,3

Воздушно-сухие и восстановленные ТРМ испытывали на механическую прочность. Проводили испытания на истирание (только воздушно-сухие ТРМ), во вращающемся барабане со стальными шарами при скорости 150об/мин и в течении времени 10мин (таблица 5.13.).

Таблица 5.13. - Определение прочности ТРМ на истираемость

Исход.навесок, (г)	Остаток на сите, (г)	Вес мелочи, (г)	Мелочь менее 1мм, (%)
14,9	14,6	0,3	2
15	14	1	6,6
15	14,9	0,1	0,6
14,9	14,8	0,1	0,6

Опыты по коксованию ТРМ проводится (при интервале температур от 500 до 1000°C) с использованием тигельной печи ТЭП - 1. Коксование при температуре 1100°C, проводят в трубчатой печи СУОЛ - 0,44 12М - У42.

Образцы ТРМ загружают в реторту. Подъем температуры в процессе коксования составляет 5°C за одну минуту. После достижения установленной температуры, реторта вместе с образцами ТРМ охлаждается при нормальных условиях в атмосфере азота. Перед загрузкой и сразу после выгрузки с образцов ТРМ снимают данные (масса; диаметр; высота) и заносят их в таблицы 5.14.,5.15.,5.16.,5.17.

Таблица 5.14. - Определение усадки ТРМ при нагревании (вариант №1)

Температура °C	№ 3	До коксования				После коксования				Усадк а, %	Усадк а средн яя, %
		Диаметр, см	Высота, см	Масса, кг	Объем, см³	Диаметр, см	Высота, см	Масса, кг	Объем, см³		
500	1	3,1	1,9	21,1	14,3	3	1,7	16,7	12	16	11,3
	2	3,1	1,8	20,3	13,6	3	1,7	16,7	12	11,7	
	3	3,1	1,7	20,6	12,8	3	1,7	16,7	12	6,2	

600	1	3,1	1,3	15,2	9,8	3	1,3	12,2	9,2	6,1	10,6
	2	3,1	1,6	17,2	12,1	3	1,5	13,7	10,6	12,4	
	3	3,1	1,2	13,1	9	3	1,1	10,5	7,8	13,3	
700	1	3,1	1,1	11,4	8,3	3,1	1	8,6	7,5	9,6	8,1
	2	3,1	1,4	15,5	10,5	3,1	1,3	12,2	9,8	6,6	
	3	3,1	1,3	15,4	9,8	3,1	1,2	12,1	9	8,1	
800	1	3,1	1,3	15,7	9,8	2,8	1,3	11,4	9,8	0	0
	2	3,1	1,4	16,3	10,5	2,8	1,4	11,6	10,5	0	
	3	3,1	1,4	16,4	10,5	2,8	1,4	12	10,5	0	
900	1	3,1	2,6	28,8	19,6	2,7	2,3	18,8	14,1	28,1	29,1
	2	3,1	2,3	24,9	17,3	2,7	2	17,1	12,3	28,9	
	3	3,1	2	22,7	15,1	2,7	1,7	15,4	10,5	30,5	
1000	1	3,1	2,5	27,9	18,9	2,2	2,2	18,2	12,6	33,3	36,8
	2	3,1	2	22	18,9	2	1,6	14,2	9,1	39,7	
	3	3,1	1,7	18	16,6	1,2	1,4	12,1	8	37,5	
1100	1	2,8	2,5	22,7	10,3	1,5	2,1	16,2	8	57,7	70,2
	2	2,8	2,5	21,8	10,9	2,7	2,1	15,1	6,6	65,1	
	3	2,8	2,2	15,9	14,9	2,1	1,8	10,6	2	87,9	

Рисунок 5.5. - Зависимость усадки ТРМ от температуры (вариант №1)

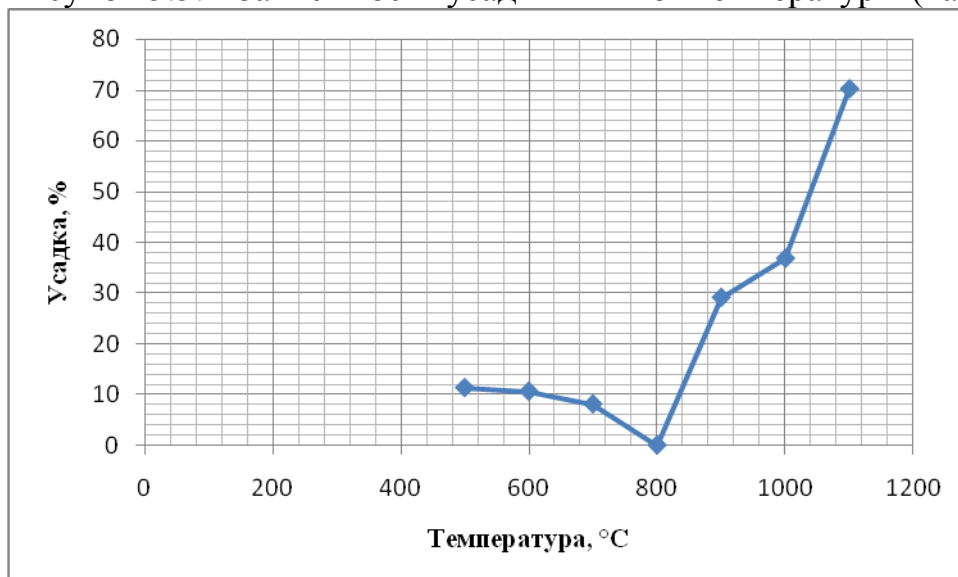


Таблица 5.15. - Определение усадки ТРМ при нагревании (вариант №2)

Температура °C	№	До коксования				После коксования				Усад ка, %	Усадка средняя , %
		Диаме тр, см	Высот а, см	Мас са, кг	Объем , см ³	Диамет р, см	Высот а, см	Масса , кг	Объем , см ³		
500	1	2,8	1,1	5,6	6,7	2,4	0,9	3,7	4	40,3	41,2
	2	2,8	2	9,9	12,3	2,4	1,6	6,6	7,2	41,4	
	3	2,8	1,9	9,9	11,7	2,4	1,5	6,4	6,8	41,9	
600	1	2,8	2	10,2	12,3	2,4	1,7	6,9	7,7	37,4	36,3
	2	2,8	1,2	6,2	7,4	2,4	1,1	4,2	5	32,4	
	3	2,8	1,2	6,6	7,4	2,4	1	4,5	4,5	39,2	
700	1	2,8	1,3	7	8	2,4	1,1	4,7	5	37,5	43,8
	2	2,8	1,9	7,9	11,7	2,4	1,2	5,2	5,4	53,8	
	3	2,8	1,1	5,5	6,7	2,4	0,9	3,6	4	40,3	
800	1	2,8	1,2	6,8	7,4	2,4	1	4,4	4,5	39,2	41,9
	2	2,8	1,1	5,9	6,7	2,4	0,9	3,8	4	40,3	
	3	2,8	1,1	5,3	6,7	2,4	0,8	3,5	3,6	46,2	
	1	2,8	1,8	9,5	11,1	2,3	1,4	4,9	5,8	47,7	

900	2	2,8	2,2	11,2	13,5	2,3	1,7	5,8	7	48,1	47,8
	3	2,8	1,8	9,5	11,1	2,3	1,4	4,8	5,8	47,7	
1000	1	2,8	1,8	9,2	11,1	2,2	1,4	4,4	5,3	52,2	53,6
	2	2,8	1,9	9,5	11,7	2,2	1,4	4,7	5,3	54,7	
	3	2,8	1,6	8,8	9,8	2,2	1,2	4,2	4,5	54,1	
1100	1	2,8	2,2	11,4	13,5	1,5	2,1	3,3	3,7	71,5	60,4
	2	2,8	1,9	9,4	11,7	2,2	1,4	5	5,3	54,7	
	3	2,8	2,6	13,4	16	2,1	2,1	6,5	7,2	55	

Рисунок 5.6 - Зависимость усадки ТРМ от температуры (вариант №2)

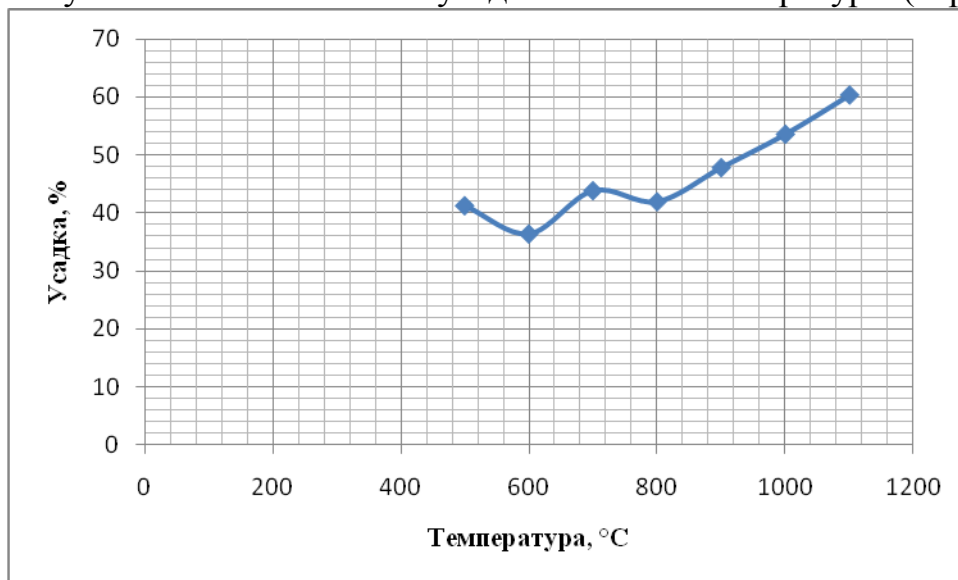


Таблица 5.16. - Определение усадки ТРМ при нагревании (вариант №3)

Температура °C	№3	До коксования				После коксования				Усад ка, %	Усадка средняя , %
		Диаметр, см	Высота, см	Масса, кг	Объем, см³	Диаметр, см	Высота, см	Масса, кг	Объем, см³		
500	1	2,7	2,1	12,2	12	2,4	1,9	8,7	8,6	28,3	29
	2	2,7	1,7	8,9	9,7	2,4	1,5	6,3	6,8	29,9	
	3	2,7	2	11,3	11,4	2,4	1,8	8,1	8,1	28,9	
600	1	2,7	1,8	16,1	10,3	2,4	1,5	6,2	6,8	34	32,6
	2	2,7	1,5	22	8,6	2,4	1,3	5,4	5,9	31,4	
	3	2,7	2	20,8	11,4	2,4	1,7	7,8	7,7	32,4	
700	1	2,7	1,8	10,4	10,3	2,4	1,6	7	7,2	30,1	30,2
	2	2,7	1,6	8,6	9,1	2,4	1,4	5,7	6,3	30,7	
	3	2,7	2,7	14,1	15,4	2,4	2,4	9,4	10,8	29,9	
800	1	2,7	2,1	11,3	12	2,3	1,8	7,4	7,5	37,5	36
	2	2,7	2,1	11,4	12	2,3	1,9	7,4	7,9	34,1	
	3	2,7	2,5	14,9	14,3	2,3	2,2	9,7	9,1	36,3	
900	1	2,7	1,6	9	9,1	2,2	1,3	4,9	4,9	46,1	44,9
	2	2,7	1,7	8,7	9,7	2,2	1,4	4,6	5,3	45,3	
	3	2,7	2,1	11,3	12	2,2	1,8	6,1	6,8	43,3	
1000	1	2,7	1,9	10,3	10,9	2,3	1,5	5,2	6,2	43,1	44,6
	2	2,7	1,9	10,3	10,9	2,2	1,6	5	6,1	44	
	3	2,7	2,5	13,9	14,3	2,2	2	6,9	7,6	46,8	
1100	1	2,7	1,8	9,7	10,3	1,5	1,4	9,9	2,5	75,7	40,9
	2	2,7	1,9	10,2	10,9	2,7	1,9	12,4	10,9	0	
	3	2,7	2,6	13,6	14,9	2,1	2,3	14,3	7,9	47	

Рисунок 5.7. - Зависимость усадки ТРМ от температуры (вариант №3)

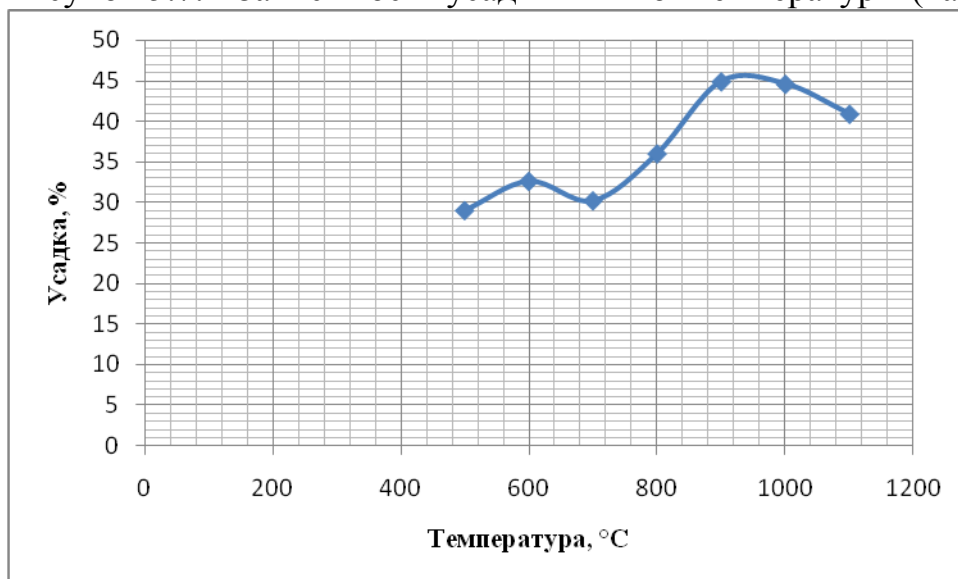
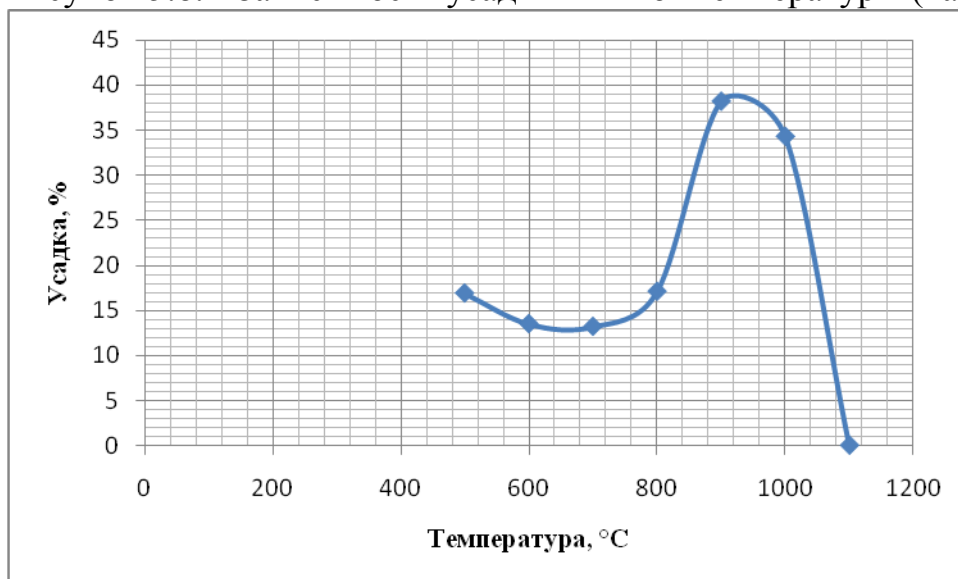


Таблица 5.17. - Определение усадки ТРМ при нагревании (вариант №4)

Температура °C	№	До коксования				После коксования				Усад ка, %	Усадка средняя , %
		Диаме тр, см	Высот а, см	Мас са, кг	Объе м, см ³	Диамет р, см	Высот а, см	Масса , кг	Объе м, см ³		
500	1	3,2	1,9	20,5	15,3	3	1,8	16,3	12,7	16,9	16,9
	2	3,2	2	21,6	16,1	3	2	16,8	14,1	12,4	
	3	3,2	1,9	19,6	15,3	3	1,7	15,7	12	21,5	
600	1	3,2	1,5	9	12	3	1,5	17	10,6	11,6	13,5
	2	3,2	2,1	7,9	16,9	3	2	16,3	14,1	16,5	
	3	3,2	1,9	11,3	15,3	3	1,9	12,2	13,4	12,4	
700 Частично окислились	1	3,2	1,6	17,9	12,8	3	1,6	13,8	11,3	11,7	13,2
	2	3,2	2,5	25	20,1	3	2,4	18,3	16,9	15,9	
	3	3,2	2,7	28,8	21,7	3	2,7	21,7	19,1	12	
800 Частично окислились	1	3,2	1,3	14,5	10,4	3	1,2	10,7	8,5	18,2	17,1
	2	3,2	1,9	18,8	15,3	3	1,7	13,2	12	21,5	
	3	3,2	1,4	15,6	11,2	3	1,4	10,9	9,9	11,6	
900	1	3,2	1,9	17,8	15,3	2,7	1,6	9,5	9,1	40,5	38,2
	2	3,2	2	19,8	16,1	2,7	1,7	12,7	9,7	39,7	
	3	3,2	1,3	13,8	10,4	2,7	1,2	7,9	6,8	34,6	
1000	1	3,2	2,1	22,8	16,9	Разрушился					34,3
	2	3,2	1,9	19,4	15,3	2,8	1,6	12,6	9,8	35,9	
	3	3,2	1,6	17,4	12,8	2,8	1,4	9,6	8,6	32,8	
1100	1	2,7	1,8	14,5	14,5	Разрушились					
	2	2,8	2,2	17,4	17,7						
	3	2,7	2,6	20	20,9						

Рисунок 5.8. - Зависимость усадки ТРМ от температуры (вариант №4)



Анализируя данные представленные на рисунках 5.5., 5.6., 5.7. и 5.8. видно, что при увеличении температуры нагрева, конечные значения усадки растут. Термическое разложение торфа наблюдается уже при температуре 500°C и характеризуется потерей летучих веществ. В процессе коксования ТРМ протекают два процесса: термическое разложение торфа (коксование торфа) и восстановление железной руды.

В ходе выполнения работы был проанализирован ТРМ, восстановленные при температуре 500 - 1100°C с вариантами №1 и №2. Для каждого образца проводили анализ по определению содержания железа общего, железа двухвалентного и железа металлического. Исходя из полученных при выполнении анализа данных, определили степень восстановления и степень металлизации. Сущность методики анализа заключается в растворении исследуемых образцов соляной кислотой и последующем определении содержания железа бихроматным методом.

Полученные данные представлены в таблицах 5.18., 5.19., 5.20., 5.21., 5.22., 5.23., 5.24. и 5.25.

Из таблицы 5.18. видим, что с повышением температуры от 500 до 1100°C содержание общего железа в варианте №1 возрастает от 54,5 до 55,8%. Из таблицы 5.22. видим, что с повышением температуры от 500 до

1100°C содержание общего железа в варианте №2 возрастает от 52,3 до 55,7%. Содержание общего железа в продуктах восстановления постепенно возрастает, за счет потери летучих веществ.

Из таблицы 5.19. следует, что содержание железа двухвалентного в варианте №1 в интервале температур 500 - 800°C равномерно возрастает от 10 до 35,9%. При температуре 900°C происходит увеличение, а при температуре 1000°C и выше уменьшение содержания железа двухвалентного. Из таблицы 5.23. видим, что содержание железа двухвалентного в варианте №2 в интервале температур 500 - 900°C равномерно увеличивается от 11,8 до 34,7%. При температуре более 900°C происходит заметное уменьшение содержания железа двухвалентного. Это связано с тем, что при более высоких температурах железо переходит в металлическую форму. В образце может содержаться либо Fe_2O_3 и FeO , либо Fe_2O_3 и $\text{Fe}_{\text{мет.}}$.

Из таблицы 5.20. можно сделать вывод, что при увеличении температуры, содержание металлического железа в варианте №1 увеличивается от 6,6% при нагреве до 900°C, до 14,8% при нагреве до 1100°C. Из таблицы 5.24. можно сделать вывод, что при увеличении температуры, содержание металлического железа в варианте №2 увеличивается от 9,8% при нагреве до 900°C, до 21,9% при нагреве до 1100°C.

Далее рассчитали степень восстановления.

Из таблицы 5.21. и рисунка 5.9. видно, что на всем интервале температур 550 - 1100°C степень восстановления ТРМ увеличивается от 6 до 82% в варианте №1.

Также видно, что на всем интервале температур 550 - 1100°C степень восстановления ТРМ увеличивается от 7 до 59% в варианте №2.

Наиболее интенсивно протекает восстановление в интервале температур 900 - 1100°C. Восстановителем в этом интервале температур служит твердый остаток пиролиза торфа-полукокс. На рисунке 5.11. также видим, что графики для образцов с разными соотношениями торфов

практически сливаются. Можно сделать вывод, что тип и вид торфа не оказывает существенного влияния на степень восстановления.

Таблица 5.18. - Результаты определения общего железа $Fe_{общ}$ в ТРМ (вариант №1)

Температура, °С	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	$Fe_{общ}$, %	$Fe_{общ}$ сред, %
500	0,5	1	17,9	53,27	54,5
	0,5	2	17,3	55,73	
600	0,5	1	16,1	50,40	52,5
	0,5	2	17,3	54,67	
700	0,5	1	17	56,60	56,6
	0,5	2	17,3	56,65	
800	0,5	1	17	54,04	55,6
	0,5	2	17,7	57,25	
900	0,5	1	17,2	56,92	59,2
	0,5	2	18,4	61,53	
1000	0,5	1	18,5	57,82	57,8
	0,5	2	17,8	57,91	
1100	0,5	1	16,5	53,58	55,7
	0,5	2	17,5	57,99	

Таблица 5.19. - Результаты определения содержания Fe^{2+} в ТРМ (вариант №1)

Температура, °С	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	Fe^{2+} , %	Fe^{2+} сред, %
500	0,5	1	9,8	10,11	10
	0,5	2	9,4	9,93	
600	0,5	1	11,7	12,75	13,1
	0,5	2	12,1	13,45	
700	0,5	1	18,2	19,70	19,9
	0,5	2	18,8	20,19	
800	0,5	1	33,7	35,31	35,9
	0,5	2	33,7	36,68	

Таблица 5.20. - Результаты определения содержания $Fe_{мет}$ в ТРМ (вариант №1)

Температура, °С	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	$Fe_{мет}$, %	$Fe_{мет}$ сред, %
900	0,5	1	3,4	6,32	6,6
	0,5	2	3,7	6,91	
1000	0,5	1	5,2	9,64	9,4
	0,5	2	5,0	9,15	
1100	0,5	1	7,7	14,84	14,8
	0,5	2	7,9	14,80	

Таблица 5.21. - Анализ восстановления ТРМ (вариант №1)

Температура, °С	$Fe_{общ}$	Fe^{2+}	$Fe_{мет}$	α	ϕ
500	54,5	10	-	6	-
600	52,5	13,1	-	8	-
700	56,6	19,9	-	11	-
800	55,6	35,9	-	21	-

900	59,2	52,6	6,6	39	11
1000	57,8	48,4	9,4	43	16
1100	55,7	40,9	14,8	82	26

α - степень восстановления, %; φ - степень металлизации, %

Рисунок 5.9. - Зависимость содержания железа от температуры (вариант №1)

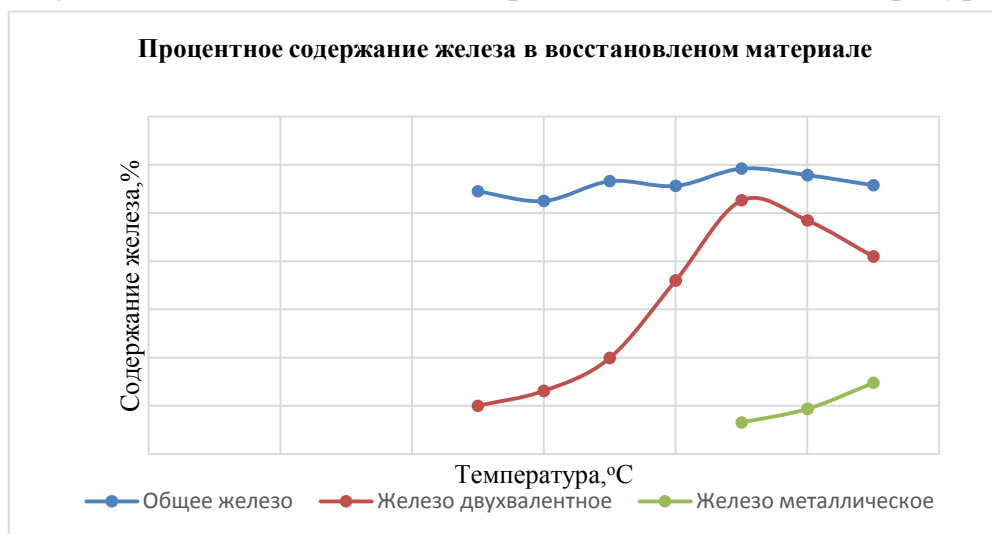


Таблица 5.22. - Результаты определения общего железа $Fe_{общ}$ в ТРМ (вариант №2)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	$Fe_{общ}$, %	$Fe_{общ}$ сред, %
500	0,5	1	15,6	51,69	52,3
	0,5	2	16,2	52,95	
600	0,5	1	17,7	56,15	55,6
	0,5	2	16,9	55,02	
700	0,5	1	18	57,86	57,9
	0,5	2	17,5	57,97	
800	0,5	1	17,9	53,77	55,6
	0,5	2	17,4	57,49	
900	0,5	1	19,7	60	59,4
	0,5	2	19,2	58,81	
1000	0,5	1	18,4	61,22	58,3
	0,5	2	17,6	55,38	
1100	0,5	1	16,5	53,95	55,7
	0,5	2	17,6	57,46	

Таблица 5.23. - Результаты определения содержания Fe^{2+} в ТРМ (вариант №2)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	Fe^{2+} , %	Fe^{2+} сред, %
500	0,5	1	11,2	11,86	11,8
	0,5	2	10,8	11,75	
600	0,5	1	16,4	17,37	17,4
	0,5	2	16	17,43	
700	0,5	1	22	23,78	22,8
	0,5	2	20	21,85	
800	0,5	1	32	34,75	34,7
	0,5	2	32,5	34,6	

Таблица 5.24. - Результаты определения содержания $Fe_{мет}$ в ТРМ (вариант №2)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	$Fe_{мет}$, %	$Fe_{мет}$ сред, %
900	0,5	1	5,5	10,24	9,8
	0,5	2	5,0	9,31	
1000	0,5	1	8,5	15,82	16,3
	0,5	2	9,0	16,76	
1100	0,5	1	11,6	21,60	21,9
	0,5	2	12,0	22,34	

Таблица 5.25. - Анализ восстановления ТРМ (вариант №2)

Температура, °C	$Fe_{общ}$	Fe^{2+}	$Fe_{мет}$	α	ϕ
500	52,3	11,8	-	7	-
600	55,6	17,4	-	10	-
700	57,9	22,8	-	13	-
800	55,6	34,7	-	20	-
900	59,4	49,6	9,8	43	16
1000	58,3	42	16,3	51	28
1100	55,7	33,7	21,9	59	39

α – степень восстановления, %; ϕ - степень металлизации, %

Рисунок 5.10. - Зависимость содержания железа от температуры (вариант №2)

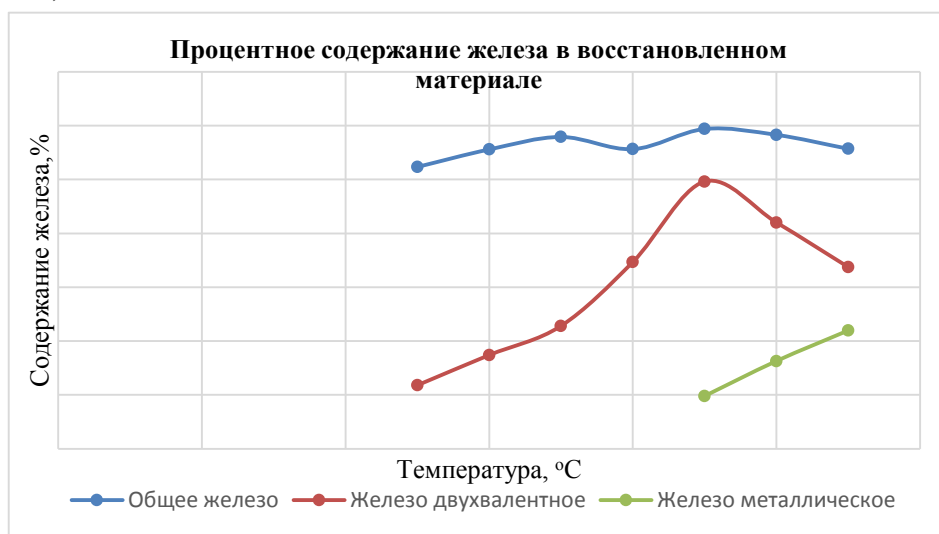
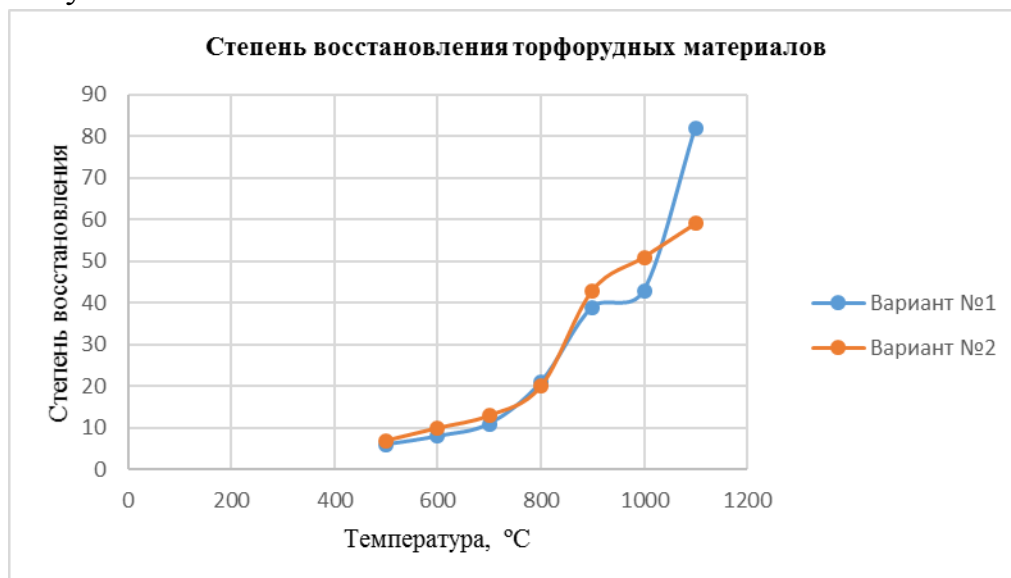


Рисунок 5.11. - Зависимость степени восстановления ТРМ от температуры



В ходе выполнения работы был проанализирован ТРМ, восстановленные при температуре 500 - 1100°C с вариантами №3 и №4. Для каждого образца проводили анализ по определению содержания железа общего, железа двухвалентного и железа металлического. Исходя из полученных при выполнении анализа данных, определили степень восстановления и степень металлизации. Сущность методики анализа заключается в растворении исследуемых образцов соляной кислотой и последующем определении содержания железа бихроматным методом.

Полученные данные представлены в таблицах 5.26., 5.27., 5.28., 5.29., 5.30., 5.31., 5.32. и 5.33.

Из таблицы 5.26. видим, что с повышением температуры от 500 до 1100°C содержание общего железа в варианте №3 возрастает от 32,2 до 55,8%. Из таблицы 5.30. видим, что с повышением температуры от 500 до 1100°C содержание общего железа в варианте №4 возрастает от 36,1 до 60,1%. Содержание общего железа в продуктах восстановления постепенно возрастает, за счет потери летучих.

Из таблицы 5.27. следует, что содержание железа двухвалентного в варианте №3 в интервале температур 500 - 800°C равномерно возрастает от 11,15 до 27,4%. При температуре более 900°C происходит резкое уменьшение содержания железа двухвалентного. Из таблицы 5.31. видим, что содержание

железа двухвалентного в варианте №4 в интервале температур 500 - 900°C равномерно увеличивается от 9,5 до 28,45%. При температуре более 900°C происходит заметное уменьшение содержания железа двухвалентного. Это связано с тем, что при более высоких температурах железо переходит в металлическую форму. В образце может содержаться либо Fe_2O_3 и FeO , либо Fe_2O_3 и $\text{Fe}_{\text{мет}}$.

Из таблицы 5.28. можно сделать вывод, что при увеличении температуры, содержание металлического железа в варианте №3 увеличивается от 33,15% при нагреве до 900°C, до 47,05% при нагреве до 1100°C. Из таблицы 5.32. можно сделать вывод, что при увеличении температуры, содержание металлического железа в варианте №4 увеличивается от 33,0% при нагреве до 900°C, до 45,1% при нагреве до 1100°C.

Далее рассчитали степень восстановления.

Из таблицы 5.29. и рисунка 5.12. видно, что на всем интервале температур 550 - 1100°C степень восстановления ТРМ увеличивается от 11 до 89% в варианте №3.

Также видно, что на всем интервале температур 550 - 1100°C степень восстановления ТРМ увеличивается от 9 до 83% в варианте №4.

Наиболее интенсивно протекает восстановление в интервале температур 900 - 1100°C. Восстановителем в этом интервале температур служит твердый остаток пиролиза торфа-полукокс. На рисунке 5.14. также видим, что графики для образцов с разными соотношениями торфов практически сливаются. Можно сделать вывод, что тип и вид торфа не оказывает существенного влияния на степень восстановления.

Таблица 5.26. - Результаты определения общего железа $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в ТРМ (№3)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, мл	$\text{Fe}_{\text{общ}}$, %	$\text{Fe}_{\text{общ}}$ сред, %
500	0,5	1	9,8	32,9	32,2
	0,5	2	9,4	31,5	
600	0,5	1	11	36,7	35,3
	0,5	2	10,1	33,9	
700	0,5	1	10,8	36,1	37,5
	0,5	2	11,6	38,9	
800	0,5	1	11,8	39,7	40,4

	0,5	2	12,2	41,1	
900	0,5	1	13,8	46,2	45,7
	0,5	2	13,5	45,2	
1000	0,5	1	16,1	53,9	53
	0,5	2	15,6	52,1	
1100	0,5	1	16,3	54,6	55,8
	0,5	2	16,8	56,9	

Таблица 5.27. - Результаты определения содержания Fe^{2+} в ТРМ (вариант №3)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, мл	Fe^{2+} , %	Fe^{2+} сред, %
500	0,5	1	10,3	11,1	11,1
	0,5	2	9,9	11,2	
600	0,5	1	14,6	16,1	16,1
	0,5	2	14,5	16,2	
700	0,5	1	18,7	20,6	20,4
	0,5	2	18,3	20,2	
800	0,5	1	24,1	27	27,4
	0,5	2	25	27,7	

Таблица 5.28. - Результаты определения содержания $\text{Fe}_{\text{мет}}$ в ТРМ (вариант №3)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, мл	$\text{Fe}_{\text{мет}}$, %	$\text{Fe}_{\text{мет}}$ сред, %
900	0,5	1	17,8	32,7	33,1
	0,5	2	18,1	33,6	
1000	0,5	1	23,4	41,5	41,9
	0,5	2	23,7	42,3	
1100	0,5	1	26,2	47,6	47,1
	0,5	2	25,9	46,8	

Таблица 5.29. - Анализ восстановления ТРМ (вариант №3)

Температура, °C	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	Fe^{2+}	$\text{Fe}_{\text{мет}}$	α	φ
500	32,2	11,1	-	11	-
600	35,3	16,1	-	15	-
700	37,5	20,4	-	18	-
800	40,4	27,4	-	22	-
900	45,7	12,5	33,1	82	73
1000	53	11,1	41,9	86	79
1100	55,8	8,7	47,1	89	84

α - степень восстановления, %; φ - степень металлизации,

Рисунок 5.12. - Зависимость содержания железа от температуры (вариант №3)

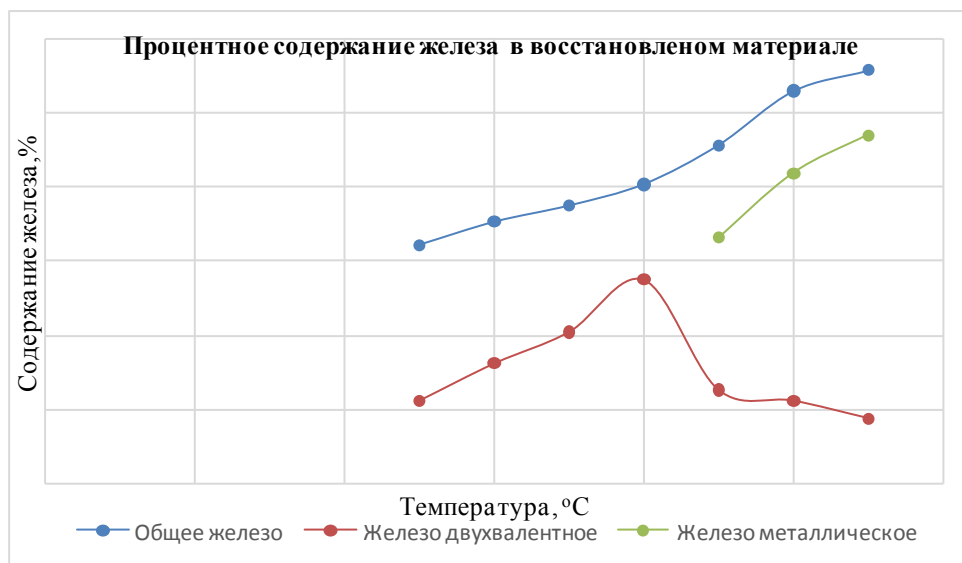


Таблица 5.30. - Результаты определения общего железа $Fe_{общ}$ в ТРМ (№4)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	$Fe_{общ}$, %	$Fe_{общ}$ сред, %
500	0,5	1	11,1	37,2	36,1
	0,5	2	10,4	34,9	
600	0,5	1	11,2	37,5	39
	0,5	2	12,1	40,5	
700	0,5	1	11,7	39,2	40,6
	0,5	2	12,5	41,9	
800	0,5	1	13,3	44,6	45,4
	0,5	2	13,8	46,2	
900	0,5	1	15,6	52,3	49,9
	0,5	2	14,2	47,6	
1000	0,5	1	15,8	52,9	53,3
	0,5	2	16	53,6	
1100	0,5	1	18,1	60,6	60,1
	0,5	2	17,8	59,6	

Таблица 5.31. - Результаты определения содержания Fe^{2+} в ТРМ (вариант №4)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	Fe^{2+} , %	Fe^{2+} сред, %
500	0,5	1	8,5	9,5	9,5
	0,5	2	8,5	9,5	
600	0,5	1	13,2	14,7	14,7
	0,5	2	13,2	14,7	
700	0,5	1	16,6	18,3	18,1
	0,5	2	16,2	18	
800	0,5	1	25,5	28,4	28,4
	0,5	2	25,5	28,5	

Таблица 5.32. - Результаты определения содержания $Fe_{мет}$ в ТРМ (вариант №4)

Температура, °C	Навеска, г	№	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	$Fe_{мет}$, %	$Fe_{мет}$ сред, %
900	0,5	1	17,7	32,8	33,0

	0,5	2	18,0	33,2	
1000	0,5	1	19,8	36,9	36,6
	0,5	2	20,2	36,3	
1100	0,5	1	24,0	44,9	45,1
	0,5	2	24,4	45,3	

Таблица 5.33. - Анализ восстановления ТРМ (вариант №4)

Температура, °C	Fe _{общ}	Fe ²⁺	Fe _{мет}	α	φ
500	36,1	9,5	-	9	-
600	39	14,7	-	12	-
700	40,6	18,1	-	15	-
800	45,4	28,4	-	20	-
900	49,9	16,9	33,0	77	66
1000	53,3	16,7	36,6	79	69
1100	60,1	15	45,1	83	75

α – степень восстановления, %; φ - степень металлизации, %

Рисунок 5.13. - Зависимость содержания железа от температуры (вариант №4)

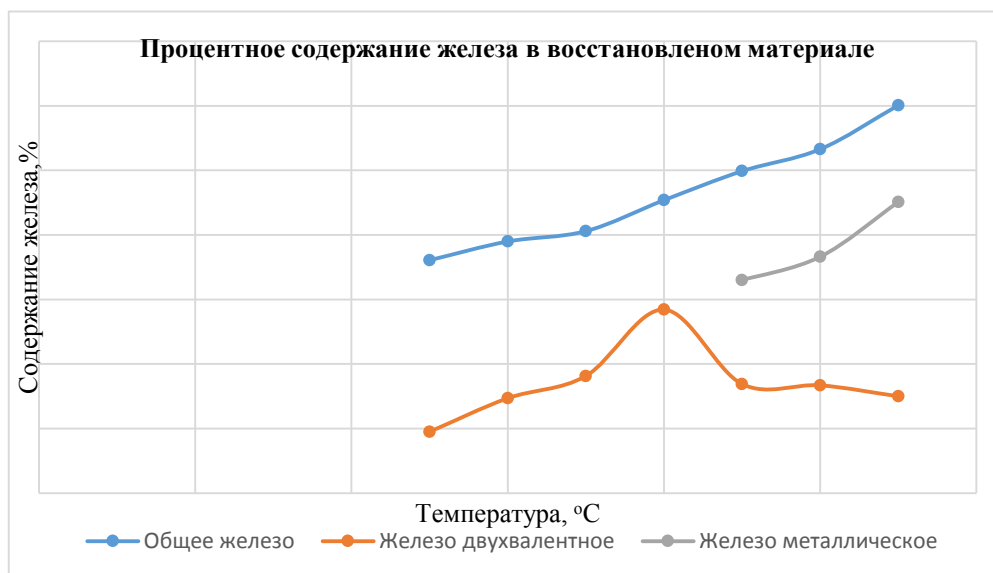


Рисунок 5.14. - Зависимость степени восстановления ТРМ от температуры

